

Obor: Výrobní systémy

Zamření: Pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu

Optimalizace výrobní linky pomocí počítačové simulace

Optimalization of the manufacturing line by the computer simulation

KVS - VS - 206

Tomáš Kloud

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. František Manlig

Konzultant: Ing. Jan Vavruška

Ing. František Koblasa

Ing. Michal Volf – Behr Czech s.r.o., Mnichovo Hradiště

Počet stran:74

Počet příloh:5

Počet obrázků:38

Počet Tabulek: 15

Počet grafů: 10

Počet diagramů: 4

Počet modelů:

Nebo jiných příloh:

V Liberci

Zadání diplomové práce

Studijní program	M2301 Strojní inženýrství
Obor	2301T030 Výrobní systémy
Zaměření	pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu

Optimalizace výrobní linky pomocí počítačové simulace

Zásady pro vypracování

- 1) Úvod do problematiky
 - 2) Analýza současného stavu
 - 3) Vytvoření simulačního modelu daného procesu
 - 4) Návrh provedení a vyhodnocení simulačních experimentů
 - 5) Závěr a zhodnocení
-

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Tomáš Kloud

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu doc. Dr. Ing. Františku Manligovi za odborné vedení mé diplomové práce.

Dále pánům Ing. Janu Vavruškovi, Ing. Františku Koblasovi a Ing. Ondřeji Ladovi za konzultace a jejich podnětné připomínky při realizaci praktické i teoretické části diplomové práce.

Také panu Ing. Michalu Volfovi z firmy Behr Czech s.r.o. za jeho odborné konzultace a připomínky.

Děkuji svým rodičům a prarodičům za jejich podporu při mém studiu na Technické univerzitě v Liberci.

Diplomová práce KVS-VS- 206

**TÉMA: OPTIMALIZACE VÝROBNÍ LINKY POMOCÍ POČÍTAČOVÉ
SIMULACE**

Práce se zabývá optimalizací výrobní linky automobilových výměníků ve firmě Behr Czech s.r.o. Součástí řešení je snaha o vytvoření dostatečně přesného modelu strojní „kasetovačky“, jako nástroje pro plánování pořadí zakázek. Celkový model výrobní linky bude využívat pokročilé metody simulace.

**THEME: OPTIMALIZATION OF THE MANUFACTURING LINE BY THE
COMPUTER SIMULATION**

The work is considered with optimalization of radiator blok's manufacturing line in Behr Czech s.r.o. Parts of the work is effort to make a real description of fin machine to planning sequence of the orders. The model of manufacturing line will using advanced method's of simulation.

Desetinné třídění:

Klíčová slova: Simulace, genetický algoritmus, kanban, heijunka

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno: 2010

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 74

Počet příloh: 5

Počet obrázků: 38

Počet Tabulek: 14

Počet grafů: 10

Počet diagramů: 4

Počet modelů:

Nebo jiných příloh:

Obsah

1	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEKA POJMŮ	7
2	ÚVOD	8
2.1	Úvod do problematiky	8
2.2	Představení firmy Behr Czech s.r.o.	9
2.3	Cíl práce	10
3	TEORETICKÁ ČÁST	12
3.1	Systémy hromadné obsluhy	12
3.2	Simulace výrobních systémů	13
3.2.1	Popis a výhody	13
3.2.2	Simulační optimalizace	14
3.2.3	Optimalizační algoritmy	14
3.2.4	Genetický algoritmus	15
3.3	Kanban	16
3.3.1	Popis	16
3.3.2	Použití	17
3.3.3	Přínosy	18
3.4	Milkrun	19
3.5	Heijunka	20
3.5.1	Popis	21
3.5.2	Přínosy	23
3.6	Plánování výrobních kapacit	23
3.6.1	Metoda MRP	23
3.6.2	Metoda MRP II	23
3.6.3	Systém APS	24
3.6.4	Systém MES	25
3.7	Optimalizace výrobních linek	26
3.7.1	Fáze optimalizace	26
3.7.2	Metody štlhlé výroby	27
3.7.3	Výstupní hodnoty a cíle optimalizace	28
3.8	Dopravníky	29
3.8.1	Druhy dopravníků	29
3.8.2	Válečkové tratě	31
3.9	Vývojové diagramy	34
3.9.1	Základy diagramů	34
3.9.2	Symbyly vývojových diagramů	34
4	ŘEŠENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	35
4.1	Siemens Tecnomatix Plant Simulation	35
4.1.1	Základní vlastnosti Plant Simulation	35
4.1.2	Porovnání licencí Plant Simulation	36
4.1.3	SimTalk a Method's	36
4.2	Výchozí stav	37
4.2.1	Layout a popis výroby	38
4.2.2	Vstupní hodnoty pro tvorbu	39
4.3	Tvorba základního modelu	43
4.3.1	Postup tvorby modelu	43
4.3.2	Problematika tvorby modelu	48
4.3.3	Používání objektu „Method“	48
4.4	Příprava optimalizace	51

4.4.1	Model.....	51
4.4.2	Nastavení GA	52
5	VÝSLEDNÁ ŘEŠENÍ	54
5.1	Vlastní řešeníúprav modelu	54
5.1.1	Řešení priority dopravníku	55
5.1.2	Řešenítrídění	56
5.2	Zaplánování pomocí Plant Simulation.....	57
5.3	Optimalizace pomocí GA	57
5.3.1	Výsledky	59
5.4	Porovnání možností	61
5.4.1	Model simulace 012	61
5.4.2	Model simulace1012	64
5.4.3	Model simulace101	66
5.4.4	Model simulace102	67
5.4.5	Generování výrobního plánu	68
5.5	Porovnání s modelem bez řídicích prvků	69
5.5.1	Model bez řídicích prvků.....	69
5.5.2	Model s řídicími prvky	70
5.5.3	Výsledné porovnání mezi modely	70
6	ZÁVĚR	71
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	72
8	SEZNAM PŘÍLOH	74

1 Seznam použitých zkratek a pojmů

APS	Advanced planning and scheduling system
FIFO	First In – First Out – strategie první dovnitř – první ven
GA	Genetic Algorhythm (genetický algoritmus)
Heijunka	Vyrovnění výroby z hlediska objemu a kombinace výrobků
JIT	Just In Time – výroba právě v daný čas
Kanban	Tahový systém řízení výroby
LIFO	Last In – First Out – strategie poslední dovnitř – první ven
MES	Manufacturing Execution System – sběr dat
Method	Objekt pro řízení v Plant Simulation
Milkrun	Způsob odběru zakázek v souladu s JIT
MRP	Material resource planing – materiálové plánování
MRP II	Manufakturing resource planing – plánování výrobních zdrojů
PLM	Product lifetime management – Cyklus produktu
SHO	Systém hromadné obsluhy
SimTalk	Programovací jazyk
SIRO	Serve In Random Order – strategie obsluhy v náhodném pořadí

2 Úvod

V dnešní době silné konkurence, jsou kladeny požadavky na včasnou reakci při změně v tržních segmentech. Jakýkoliv nový projekt, či modernizace výroby, montáže a dodavatelského systému musí být nejdříve pečlivě přezkoumán. Vysoké počáteční investice do takovýchto projektů se nemusí vyplatit, z důvodů nevhodně navržených materiálových toků, či obtížnému přizpůsobování požadavků od budoucích zákazníků.

Dnes je možné si simulačním projektem ověřit zda navrhovaná varianta bude dostačující, nebo zda současné procesy jsou optimalizovány. Jakákoliv změna již ve fázi projektování výrobních linek bude technicky, organizačně i finančně výhodnější než případná změna při zkušebním provozu již vyrobené linky. Náklady na odstranění zásadního problému jsou v počátku návrhu projektu i v několika řádech nižší, oproti odstraňování téhož problému u zaběhnutého systému.

Proto nynější trend v rámci inovačních projektů vede hlavně přes tzv. digitální továrny, kde lze vytvořit model nového produktu a také model výrobního procesu na jeho výrobu. Takový model umožní hledat řešení, která budou nejvíce vyhovovat požadavků flexibilní výroby s přihlédnutím ke stochastice v procesu a dynamické poptávky. K uplatnění jednoduchých, analyticky řešitelných modelů podnikových procesů dochází již jen v úvodní fázi projektu, neboť jsou dnes pro reálné aplikace nedostačující a je proto nezbytné tyto modely doplnit např. simulací.

2.1 Úvod do problematiky

Ve firmě Behr Czech s.r.o. byl řešen simulační projekt výrobního procesu výroby chladičů. Tento projekt sice splnil očekávání s ohledem k dostupné licenci a jejím omezením (viz. Příloha č.5 - Tabulka s porovnáním licencí), ale bylo nutné se spokojit se zjednodušeným modelem, bez možnosti využít vyšších forem programování logiky. Model sice v maximální míře odpovídal realitě, ale nebylo možné s ním efektivněji pracovat, optimalizovat a případně plánovat výrobu dle zakázek.

Požadavky firmy bylo nutné redukovat s ohledem k omezením licence vlastněné firmou. Firma Behr Czech s.r.o., proto iniciovala případovou studii za účelem porovnání možností modelování v této licenci a licenci vyšší úrovně vlastněné TU v Liberci se souhlasem společnosti Siemens.

2.2 Představení firmy Behr Czech s.r.o.

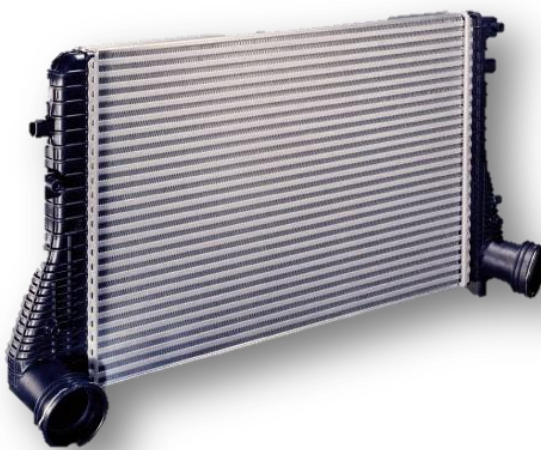
Počátek historie firmy Behr spadá do roku 1905, kdy byla v německém Stuttgartu založena Juliem F. Behrem. Historie firmy Behr Czech začíná psát v roce 1998 založením Hella-Behr s.r.o. se sídlem v Mnichově Hradišti. Později roku 2000 vzniká Behr Czech s.r.o. a stává se jedním z nejrychleji se rozvíjejících Behr závodů. Vznikly moderní provozy pro výrobu chladičů, chladících modulů, klimatizace a topení, výparníků a topných těles. Díky vysoké kvalitě výrobků se firma Behr Czech řadí k důležitým podnikům v rámci skupiny Behr.

Do této skupiny Behr Group, která má centrálu v německém Stuttgartu, patří výrobní závody v Evropě (Německo, Francie, Španělsko, Itálie a Česko), v Brazílii, Jižní Africe, Americe a v Asii (Indie, Japonsko a nově i Čína). Na následujícím obrázku (Obrázek 1) jsou znázorněny výrobní závody společně se sesterskými společnostmi (Hella system).



Obrázek 1 Mapa výrobních závodů Behr Group[1]

Výrobní program Behr Czech se skládá ze dvou hlavních produktů, a to klimatizace pro vozidla (zařízení klimatizace, topná tělesa, výparníky) a chlazení motorů (chladicí moduly a systémy, chladiče oleje motoru a převodovky). Ve společnosti je zaveden systém řízení procesů certifikovaný dle ISO 9001 a ISO TS 16949.[1]



Obrázek 2 Příklad výrobku[1]

Mezi hlavní odběratele produktů se řadí mimo jiné firmy BMW, VW, Škoda, Porsche, DaimlerChrysler, Iveco, MAN.

2.3 Cíl práce

Základem pro řešení diplomové práce bude simulační model, který co nejvěrněji popíše chování výrobní linky. Do modelu budou načítána veškerá základní data z tabulky v souboru MS Excel, který je ručně aktualizován obsluhou.

Hlavní náplní je optimalizace plánu výroby na lince z hlediska produktového mixu, tak aby bylo úzké místo (letovací pec) na lince plně vytíženo. Tento plán bude vycházet z odvolávek, které se načítají z excelovského souboru. Poté se provede simulace a optimalizace tohoto plánu tak, aby bylo minimalizováno případné zpoždění odvolávek.

Parametry, které se budou sledovat, jsou časy zpoždění, vytížení úzkého místa (letovací pece) a splnění všech dodávek v zadaném simulačním čase. Porovnáním

jednotlivých simulací s využitím objektu „Method“ a genetického algoritmu budu moci určit, který model je vhodný pro využití pro reálné plánování, či zda podpoří práci plánovače.

V teoretické části se proto budu zabývat otázkou: Co to je simulace a jak optimalizovat s pomocí optimalizačních algoritmů? Dále přiblížím řízení výroby za pomoci Kanbanu a základy pokročilých plánovacích systémů. Nakonec doplním informaci o možnostech dopravníků, jejich rozdělení a prvky ze kterých se skládají válečkové tratě. Pro realizaci logiky řízení popíšu stavební prvky pro stavbu algoritmů a v úplném závěru první části představím simulační nástroj Tecnomatix Plant Simulation od firmy Siemens AG.

Dalším bodem této diplomové práce je poukázat na jednoduchost práce s objektem „Method“ pro řízení logiky modelu, oproti využívání pouze základních prvků z programu Plant Simulation. Jako referenční model bude využit výstup projektu pro firmu Behr Czech s.r.o. Nebo-li simulační model vytvořený pod licencí Application (Obrázek 38).

Porovnávané parametry budou počty prvků v modelu, pružnost modelu pro optimalizaci a složitost postupu při vytváření modelu. Výstupem této části bude určení, zda investice do vyšší licence, která tyto metody obsahuje, se vyplatí z pohledu způsobu práce s modelem a rozšíření využitelnosti modelu nejen při plánování a optimalizaci.

3 Teoretická část

V této části si představíme základní koncepce a znalosti potřebné k realizaci diplomové práce.

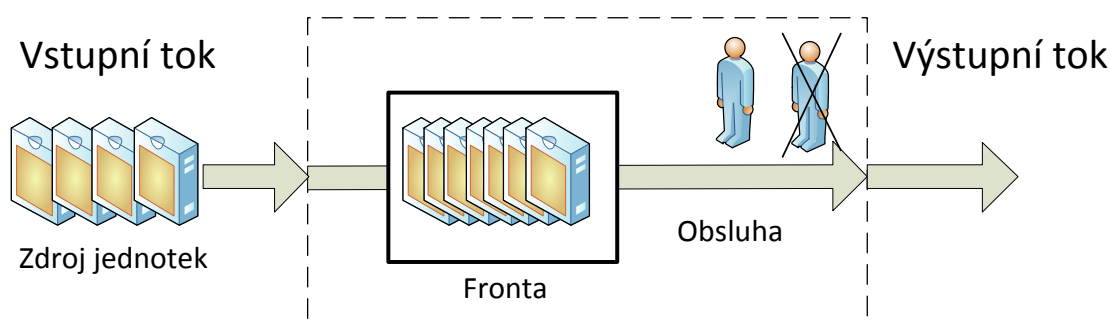
„Kdo chce stavět vysoké věže, musí se dlouho věnovat základům...”

Mathy¹

3.1 Systémy hromadné obsluhy

Teorie systémů hromadné obsluhy (SHO) stojí na základech teorií pravděpodobnosti, stohastických procesů, poznatků z lineární algebry a stavových diagramů. Modely SHO zkoumají procesy, v nichž dochází k hromadění požadavků, které je způsobeno omezenou kapacitou obsluhy.

Systém hromadné obsluhy představuje systém sloužící k uspokojování určitých potřeb jedinců, zákazníků, požadavků vstupujících do systému za účelem jejich uspokojení. [2], [3]



Obrázek 3 Základní schéma SHO [3]

Systémy hromadné obsluhy je možné dělit z mnoha hledisek na několik skupin. Např. podle typu frontového režimu se dělí na FIFO, LIFO, SIRO, kdy je potřeba pro každou frontu specifikovat pravidlo podle kterého se bude řídit. Je také možné dělit podle typu vstupního toku na deterministický nebo náhodný, podle zdroje na konečný či nekonečný.

Účelem systému SHO je analýza stávajících systémů, kdy se kontroluje, jak systém vyhovuje požadavkům, dále pak návrh a optimalizace systémů. [2], [3]

¹<http://citaty.pelmel.info/citaty/c8-uspech>

3.2 Simulace výrobních systémů

Pro jednoduché modely podnikových procesů, které jsou uváděny v literatuře pro management (např. Podnikový management, CPress: Brno, 2005) slouží matematické metody, které nabízejí analytická řešení. Reálné procesy se však odehrávají ve složitém prostředí, které obsahují mnohem více provázaných prvků se stochastickými a dynamickými charakteristikami.[2], [3]

3.2.1 Popis a výhody

Simulace je modelování stochastických procesů v časovém horizontu a sledování dynamické odezvy.

Přínosem simulace je zodpovězení otázek „Co – Když?“. Lze prozkoumat různé alternativy změn v systému, ověřit dopady a důsledky těchto změn a vybrat takové řešení, které je pro danou situaci nejvhodnější. Riziko chybných předpokladů je díky simulaci minimální, neboť chyba objevená již při zkoumání simulačního experimentu je mnohem levnější než chyba, která je odhalena až po realizaci návrhu nesimulovaného řešení.[2]

Simulace může nabídnout uživateli výstupy ve formě souboru ukazatelů, hodnotících variantu řešení pro dané nastavení vstupních parametrů. Typické ukazatele mohou být např. využití výrobních kapacit a zdrojů, spotřeba zásob a periodičita jejich doplňování s grafy vývoje. Dále simulací lze předběžně spočítat přímé, režijní a celkové náklady na výrobky, zakázky či procesy. Důležitými ukazateli jsou doby čekání a délky front vznikajících u procesů s omezenou kapacitou a identifikace úzkých míst u těchto procesů.[4],[2]

Kromě souboru ukazatelů je třeba vyzdvihnout výhodu simulace také proces učení se. Díky sběru dat pro simulační experimenty a tvorbě logiky modelu lze totiž lépe poznat fungování a struktury podnikových procesů. Také na data, která nebyla sledována, může být nahlíženo jinak. Při tvorbě modelu, může přinést proces tolik nových poznatků, že lze hovořit o „sebezničujících simulačních modelech“. [2], [3]

Vytvořený model nemusí sloužit pouze pro analýzu daného procesu, ale také pro školení pracovníků po zavedení nové organizace práce, či pro řízení a zdokonalování procesů v budoucnosti.

Aplikací simulace v praxi může být optimalizace rozsáhlých výrobních systémů s cílem zkrátit výrobní proces, minimalizovat náklady, zvýšit produktivitu či navrhnout

dispoziční uspořádání výrobních zařízení v prostoru. Mohou být sledovány systémy řízení zásobovacích procesů, rozvrhování výroby, online plánování apod.[3], [2]

Nevýhodou simulace jsou její počáteční náklady. Náklady na kvalifikovaný personál, který je schopen vytvářet simulační modely. Náklady na výpočetní techniku, která zvládne složité výpočtové modely. Náklady na programové vybavení (simulační programy), což bývá nejvyšší jednorázová částka, která ve většině případů rozhoduje o simulačních projektech (částka za software se pohybuje v řádech tisíců až deseti tisíců Euro).[4], [2]

Pro jednorázové projekty je lepší zadat řešení konzultační firmě, která má potřebné vybavení včetně zkušených zaměstnanců. Ve většině případů firma čeká až po projektu, který jim ušetří měsíčně částku převyšující pořizovací náklady na SW, zda se rozhodnout pro koupi. Pro velké firmy již může být výhodnější pořídit si potřebné vybavení, protože pokryje rozsáhlé produkce a tak převýší vynaložené náklady.

3.2.2 *Simulační optimalizace*

V podnikové praxi existují několik (dvě a více) variant řešení určitého problému a pomocí simulačního experimentu je třeba vybrat nejlepší variantu. Nejlepší znamená optimální nebo blízké optimu z hlediska zvoleného kritéria (velikost zásob, dávky, doba dodání), které se poté převede na matematický problém, vyjádřeným vhodným matematickým vzorcem, tzv. účelová funkce.

Cílem srovnání a optimalizace systémů je pomocí experimentování se simulačním modelem najít takovou variantu, která maximalizuje či minimalizuje hodnotu odezvy.[2], [4]

Více v kapitole 3.7 Optimalizace výrobních linek

3.2.3 *Optimalizační algoritmy*

Optimalizační algoritmus hledá minimum účelové funkce, která odpovídá zvoleným kritériím. Dělí se podle následujícího diagramu (Diagram 1) na smíšené, deterministické (je třeba znát předpoklady a dávají nám pouze jedno řešení) a stochastické (jsou založeny pouze na náhodě). [5]

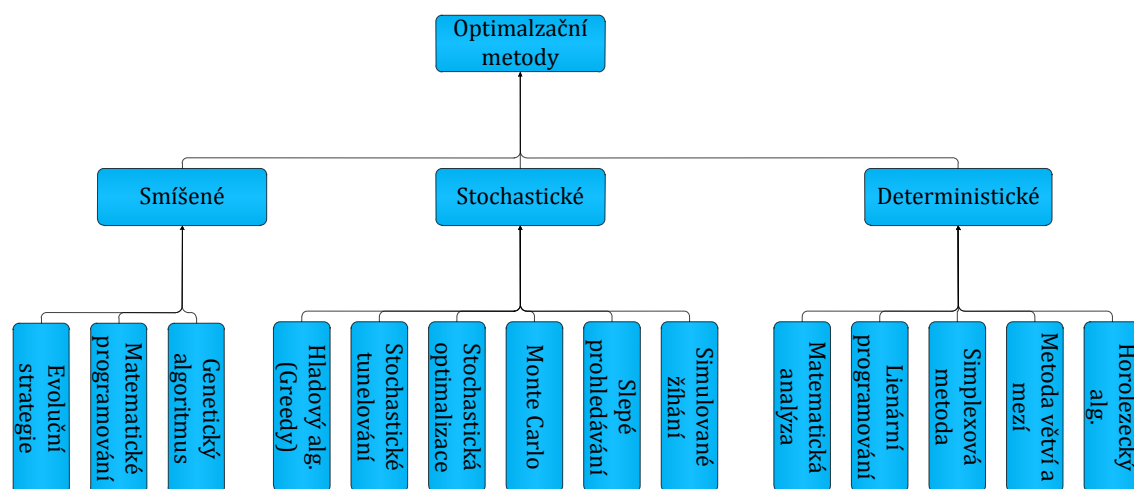


Diagram 1 Rozdělení optimalizačních metod[5]

3.2.4 Genetický algoritmus

Základy GA pocházejí z roku 1960, kdy Ingo Rechenberg představil ve své práci myšlenku Evolučních výpočtů. Poté v roce 1975 John Holland[6] popisuje Genetický algoritmus a v roce 1992 John Koza použil GA pro vývoj programů.

Tabulka 1 Pojmy Genetického algoritmu [6]

Struktura	
GEN	Popisuje jednu určitou vlastnost
Chromozóm	Popisuje jedince, souhrn vlastností
Populace	Soubor jedinců
Genetické operátory	
Křížení	Ze dvou jedinců vzniknou dva noví, každý má část genů od prvního a část od druhého jedince
Mutace	Náhodná změna jednoho genu
Reprodukce	Jedinci jsou kopírováni do nové populace podle výše své hodnotící funkce

Přírodní evoluce je úspěšná metoda pro adaptaci v biologických podmínkách (Tabulka 1). Vychází z toho, že děti dědí vlastnosti rodičů a lepší jedinci přežívají a mají více potomků. Ovšem to vše vyžaduje čas. Pomocí počítačů však můžeme porovnat tisíce jedinců během krátkého času.[4], [6]

Cílem GA je z počáteční populace různých nedostatečných řešení dosáhnout zlepšení daného problému. Jedince hodnotíme pomocí tzv. hodnotící funkce, která je ukazatelem jeho kvality. Přežití zdatnějšího (s vyšším indexem hodnotící funkce) se projeví tak, že tento jedinec bude rodič více potomků v další generaci. K vytvoření

potomků se používá dvou metod, a to křížení a mutace. Zatímco křížení nastává s vysokou pravděpodobností, mutace se objevuje s velmi malou pravděpodobností (do 5%) a brání rychlému zjednotváření vlastností. [6]

Opakování cyklu probíhá tak, že stará generace vymře a nahradí jí potomci z nové generace. Obvykle je dobré nenechat vymřít celou původní generaci a přenést nejlepší jedince do nové generace. Tento cyklus se opakuje do té doby, než bude splněna podmínka pro ukončení. Podmínky pro ukončení můžou být např. Maximální počet generací, nalezení uspokojivého řešení, apod.

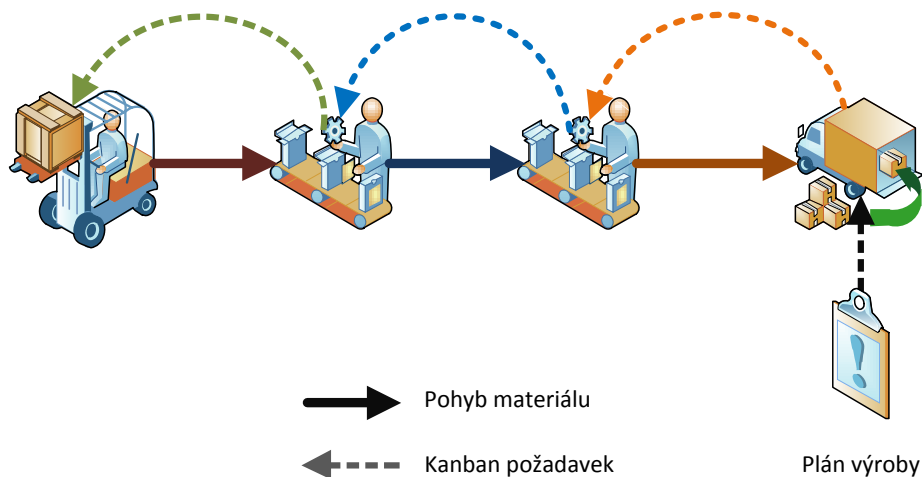
GA se dají použít pro řešení problému jinak těžko řešitelných (matematické vazby mezi parametry jsou těžko popsatelné), nízká pravděpodobnost uvážnutí v lokálním maximu, vždy poskytují snadno implementovatelná řešení. Mezi nevýhody patří to, že není záruka, zda nalezené řešení je optimální. V případě špatného návrhu jedinců a operátorů pro křížení a mutaci, mohou být pomalé při výpočtu. Z toho vyplývá, že tyto algoritmy potřebují vhodně nastavit velké množství parametrů pro řešení.[7], [8]

3.3 Kanban

Je tahový systém řízení výroby. Patří mezi metody využívané v synchronizaci toků. Hlavní cíl metody je výroba na výzvu v celém podniku. Byl vyvinut Taiichi Ohnem ve společnosti Toyota. Tento systém se velmi dobře osvědčuje pro ty díly, které se používají opakovaně, tj. ve velkosériové výrobě s ustáleným prodejem. Jeho přínosem je minimalizace dílů ve výrobě. [9], [10], [11]

3.3.1 *Popis*

Princip řízení pomocí systému Kanban je založený na tvorbě samořídících regulačních okruhů. Vytváří se vždy mezi zdrojem a výrobním nebo montážním úsekem, např. dodavatel – sklad, montáž – výroba apod.). Karty kanbanu se používají vždy jen v jednom regulačním okruhu. Na následujícím obrázku je znázorněný hrubý princip kanbanových okruhů (viz Obrázek 4).



Obrázek 4 Kanban[10]

3.3.2 Použití

Pro zavedení systému Kanban do výroby je třeba vykonat následujících 7 kroků.

- Zaškolení všech pracovníků

Zapojení dělníků a manažerů do znalostí o systému Kanban. Jednoduché prezentace pro vysvětlení případně rozsáhlejší zaškolení o chování systému s praktickými příklady.

- Obstarání databáze

Charakterizuje výrobní procesy. Tato data umožňují výpočet velikosti a počtu kanbanových karet. Tento první krok také může být iniciátorem k sestrojení mapy toku hodnot neboli Value Stream Mapping (viz. strana 27)

- Výpočet velikosti kanbanu

Tento krok dovoluje spočítat velikosti kanbanových dávek pro současné podmínky.

- Navržení systému kanbanu

Musí zohledňovat, jak bude materiál kontrolován, jaké jsou vizuální signály, kdo bude zodpovídat za kontrolu a řešení problémů, apod. Na konci tohoto kroku by měli být připraveny plány pro implementaci kanbanu, včetně nezbytných kroků pro jeho přípravu.

- Spuštění kanbanu

Kontrola všech signalizačních tabulí, kontrolních bodů a spuštění systému.

- Audit a údržba kanbanu

Nejdůležitější krok pro úspěšnou implementaci kanbanu. Po spuštění kanbanu se musí začít s auditem kanbanu. Kontrola signalizačních tabulí, způsobů dodávek apod. Auditóři hledají nové požadavky na velikost kanbanu. Pokud se nezohlední velikost kanbanu pro pozdější požadavky, pak se může očekávat neustálé ruční zasahování do samořídících procesů.

- Vylepšení kanbanu

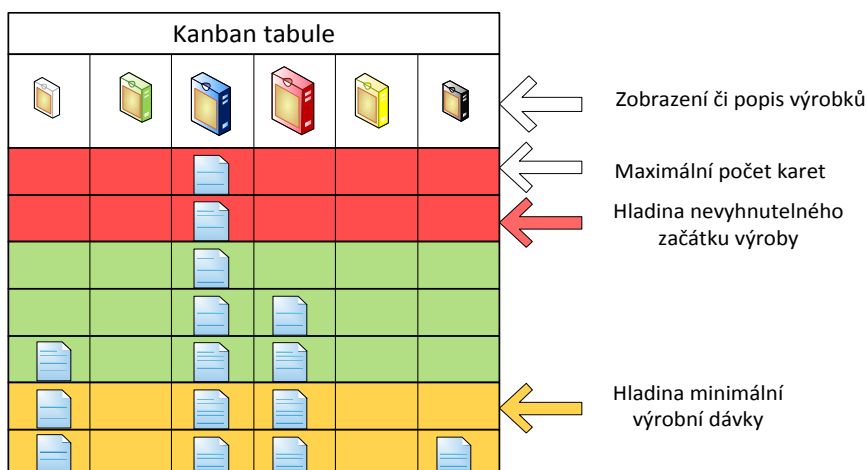
Posledním krokem je snižování velikosti kanbanu a tím i menší rozpracovanosti výroby.[11]

3.3.3 Přínosy

Přínosy systému Kanban můžeme rozdělit na dvě oblasti. Přínosy v oblasti informačního toku a přínosy v oblasti materiálového toku.

Přínosem informačního toku je jednodušší způsob plánování. Nahrazuje se tu klasický vertikální způsob plánování, kde dílenský plánovač zodpovídá za všechny procesy, způsobem horizontálním, kde dle požadavku zákazníka se naplňuje pouze jeden proces a poté kanban karta řídí tok materiálu na všech pracovištích, které tomuto procesu předcházejí.

Přínosem materiálového toku je řízení materiálu v určitých mezích. Kdy na kanbanových tabulích je nastaven minimální a maximální počet kanbanových karet pro daný produkt. Díky tomu lze pouhým pohledem zjistit stav nedokončené výroby pro každý produkt (viz. Obrázek 5). [12], [13]

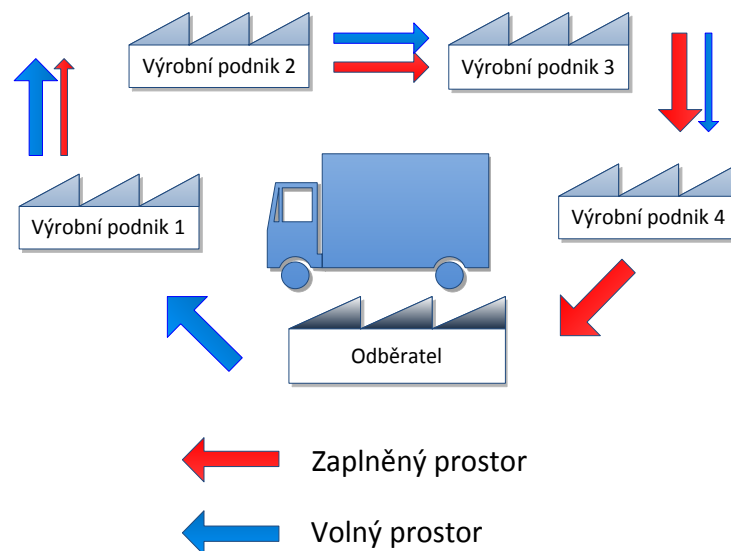


Obrázek 5 Kanbanová signální tabule[9]

3.4 Milkrun

Milkrun byl poprvé zaveden v polovině 20. století v Anglii. Tamnější rozvozci mléka (milkrunner) začali s přímými dodávkami mléka do domácností. Tato domácnost se mohla vždy spolehnout na to, že v domluvený čas naleznou plné nádoby s mlékem předdveřmi a jejich prázdné láhve rozvozci odvezou do mlékárny, kde je naplní mlékem pro příští den. Prázdná láhev takto fungovala jako objednávka na příští den. [12]

Tento koncept byl posléze uplatněn v amerických supermarketech, kde se začal uplatňovat systém informačních karet (viz kapitola 3.3 Kanban). Stal se velmi silným nástrojem pro firmy odebírající zboží od dodavatelů. Stejně tak se tento koncept uplatňuje i ve vnitropodnikové logistice, kdy odběratele nahrazuje centrální sklad a výrobní podniky zas montážní či výrobní linky.



Obrázek 6 Milkrun[14]

Hlavní podstatou Milkrunu je tzv. jízdní řád, neboli rozpis kdy přijede dopravce pro připravený materiál. Výhodou takového systému je pak jeho integrace do JIT výroby.[14]

Rozlišujeme dva druhy milkurunu:

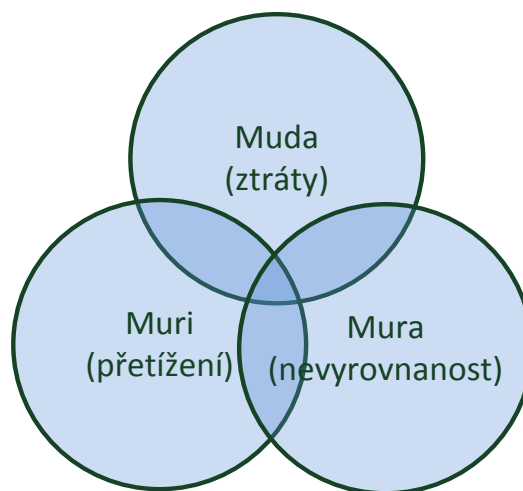
- Interní Milkrun je v rámci závodu. Dopravní vozíky obsluhují pracoviště v přesně daných časových intervalech a svážejí materiál do centrálního skladiště či naopak, z centrálního skladiště rozvázejí do jednotlivých pracovišť.
- Externí Milkrun je v rámci dodavatelů. Často se tato činnost přenechává specializovaným spedičním firmám, které zodpovídají pak za včasnost dodávek.

Přínosem zavedení milkrunu jsou ušetřené náklady na dopravu, jistota včasné dodávky. [14]

3.5 Heijunka

Heijunka je vyrovňování výroby jak z hlediska objemu, tak i z hlediska kombinace výrobků. Výrobky nejsou zhotovovány podle skutečného toku objednávek zákazníků, které mohou prudce kolísat nahoru i dolů, nýbrž se vezme celkové množství objednávek za určité období, aby se vyrovnaným způsobem rozdělilo.

Heijunka odstraňuje jedno ze tří „M“, což jsou Muda, Muri a Mura. Konkrétně se jedná o Mura – nevyrovnanost. Výsledkem mura bývá muda – ztráty. [9]



Obrázek 7 Tři „M“ [9]

Soustředění na muda je nejběžnějším přístupem k implementaci štíhlé výroby, jelikož ztráty jsou snadno rozpoznatelné a odstranitelné. Avšak se zapomíná na obtížnější proces, stabilizace systému a vytvoření vyváženého „štíhlého“ toku práce. Odstraněním Mura je rozhodující pro vyloučení Muda a Muri. [9]

Náběhy, přerušení, nadměrné a pak nedostačující využívání představují problém.

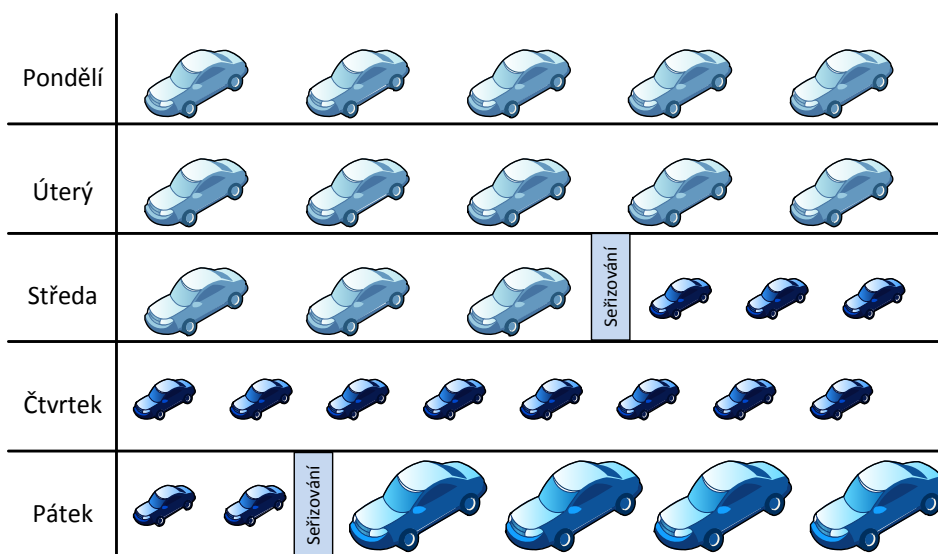
„Pomalejší, avšak vytrvalá želva způsobí méně ztrát a je mnohem vhodnější než rychlý zajíc, který uhání vpřed, a potom se tu a tam zastaví, aby si zdříml. Systém výroby firmy Toyota může být uskutečněn jen tehdy, když se všichni dělníci promění v želvy.“²

3.5.1 Popis

Při jednokusovém toku můžeme vyrábět výrobky podle toho, jak objednávky skutečně přicházejí. V důsledku toho se díly vyrábějí nepravidelně. Jeden den může přijít více objednávek než následující den, tudíž první den budou muset zaměstnanci pracovat přesčas, zatímco druhý den budou muset odejít z práce dříve.

Pro vyrovnaní výrobního harmonogramu uvažujeme skutečnou poptávku zákazníků za určité období a určíme z ní strukturní vzorec. Takto pak se bude moci vytvořit vyrovnaný sled výroby.[9], [15]

Na následujícím obrázku (Obrázek 8) je příklad nevyrovnaného harmonogramu výroby automobilové firmy. Vyrábějí se tři velikosti aut. Malé, střední, velké.



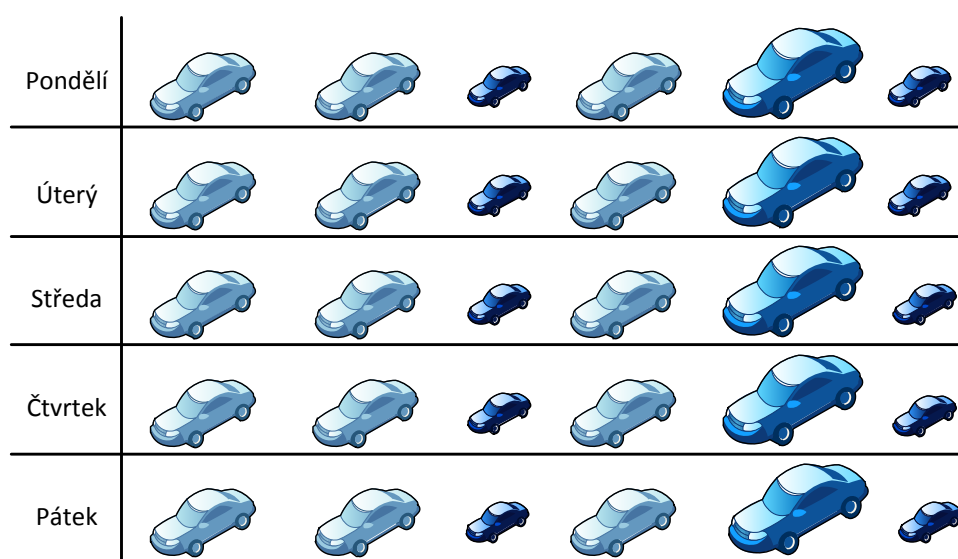
Obrázek 8 Nevyrovnaný výrobní harmonogram[9]

²Liker, Jeffrey K. *Tak to dělá Toyota*. Praha : Management Press, 2008 str. 154

Na začátku týdne se vyrábějí úspěšnější střední modely, následují prodejně méně úspěšné malé modely a na konci týdne se vyrábějí velké modely, po kterých je nejnižší poptávka. Tento harmonogram má 4 zásadní chyby:

- A) Zákazníci nenakupují výrobky předvídatelným způsobem
- B) Existuje riziko neprodaného zboží
- C) Využívání zdrojů je nevyvážené
- D) Předávání nevyrovnané poptávky předcházejícím procesům

Zaváděním metod Lean Production, neboli štíhlé výroby, lze zkrátit časy přeseřizování na jiný druh výrobku.



Obrázek 9 Vyrovnaný výrobní harmonogram[9]

Vyrovnání výrobního harmonogramu (Obrázek 9) přineslo čtyři výhody:

- A) Flexibilitu umožňující vyrábět, co chce zákazník a v čase, kdy to chce zákazník
- B) Nižší riziko neprodaného zboží
- C) Vyvážené využívání pracovních sil a strojního zařízení
- D) Vyrovnanější nároky na dodavatelské procesy a dodavatele

Žádný z těchto procesů by nebyl myslitelný, kdyby závod nepřišel na způsob, jak odbourat seřizovací časy. [9], [13]

3.5.2 *Přínosy*

Heijunka odstraní plýtvání, prostřednictvím vyrovnaní objemů produktů a mixu. Důležitým přínosem je ustálení požadavků na pracovníky, vybavení a dodavatele, kteří budou moci také vyrábět dle vyrovnaného výrobního harmonogramu. Výrazně se tak snižuje požadavek na připravenost kapacit na zvýšený odbyt při nevyrovnané výrobě.[9], [11]

3.6 Plánování výrobních kapacit

Při plánování materiálových požadavků, ať už z hlediska tažného (kanban) či tlačného způsobu, se vychází pouze z požadované dodávky materiálu. V ideálním případě, kdy je potřebný materiál zajištěn, se bude moci ihned vyrábět. Tento způsob je nazýván plánováním do neomezených kapacit, jelikož vychází z předpokladu, že kapacita výroby je dostupná v okamžiku potřeby. Je to ale velmi hrubé zjednodušení a proto se nehodí pro přesné plánování výroby.

S dynamickými změnami v ekonomice se tento způsob plánování stává neudržitelným. Jelikož každá firma má své výrobní kapacity omezené, proto je musí pečlivě plánovat. Sledování těchto kapacit a materiálových požadavků společně s počátečním a koncovým termínem, můžeme plánovat buď zpětně nebo dopředně, podle zadaných požadavků. [16]

3.6.1 *Metoda MRP*

MRP je zkratka pro Material Requirements Planning, neboli plánování materiálových požadavků. Optimalizuje skladové zásoby (objednává se pouze to, na co se vydá požadavek) na úkor okamžité dosažitelnosti materiálu, proto tento systém se využívá hlavně u výroby na zakázku.

Často se však využívá kombinovaného systému Tah – Tlak, především u výroby typu montáž na zakázku, kde se unikátní součástky řídí pomocí MRP a běžně dostupný materiál systémem Kanban. [16], [12]

3.6.2 *Metoda MRP II*

MRP II je zkratkou pro Manufacturing Resource Planning, značící plánování výrobních zdrojů. Vzniknul rozšířením MRP o funkce pro plánování kapacit. Tento koncept se již zabudovává do celopodnikových informačních systémů (ERP), takže není potřeba vynaložit další prostředky pro jeho implementaci.

Pro spolehlivé fungování plánování je třeba vysoké přesnosti vstupních dat, pokud toto není splněno, nemusí systém vykazovat správné výsledky. Proto se hodí pro ty typy výroby, kde se po dlouhou dobu nemění vstupní data. Mění se pouze četnost objednávek, varianty výrobků, možné alternativy technologické výroby apod. To znamená, že MRP II je velmi citlivé na rychlé změny vstupů, priorit a výrobních kapacit.

V poslední době však metoda MRP II přestává dostačovat a přechází se na systémy APS, které překonávají metodu MRP II (např. složité optimalizační algoritmy). [16]

3.6.3 *Systém APS*

Advanced planning and scheduling system, zkráceně APS, je určen pro operativní plánování a rozvrhování výroby do omezených kapacit podle více kritérií. Umožňuje rychle a efektivně reagovat na mimořádné situace ve výrobním programu.

Systém přebírá informace o zakázkách z nadřazeného systému typu ERP a vrací vytvořený plán, např. ve formě Ganttova diagramu. Principem je hledání globálního optima, které není rovné součtu lokálních optim. Oproti tradičním rozvrhovacím systémům (např. MRP II), které hledají nejprve lokální optimum u materiálových požadavků a následně hledají lokální optimum u výrobních kapacit.

Nejprve se nadefinují výchozí podmínky a vstupní parametry, které systém zanalyzuje a vyhodnotí optimální variantu z daných kritérií. Dle nastavení požadavků se může měnit i výsledné řešení. [16], [12]

I přes veškeré výhody, které APS přináší, není vhodné implementovat v každém případě. Při zavádění musíme mít napaměti tato možná úskalí:

- Pokud firma pracuje se způsobem výroby typu Tah (kanban, JIT), APS se neuplatní, pokud nenastanou urgentní objednávky od zákazníků,
- Pokud není vytížená kapacita, pak optimalizace nezvýší průchodnost systémem (úzké místo je obchod),
- Pokud lze jediný výrobek vyrábět právě na jednom stroji, pak zlepšením optimálního plánu výroby nic nezískáme. Lze pouze zpřehlednit výrobu a případně snížit rozpracování výroby. [17]

Projektová analýza pro systém APS se může sestávat z analýzy současného stavu

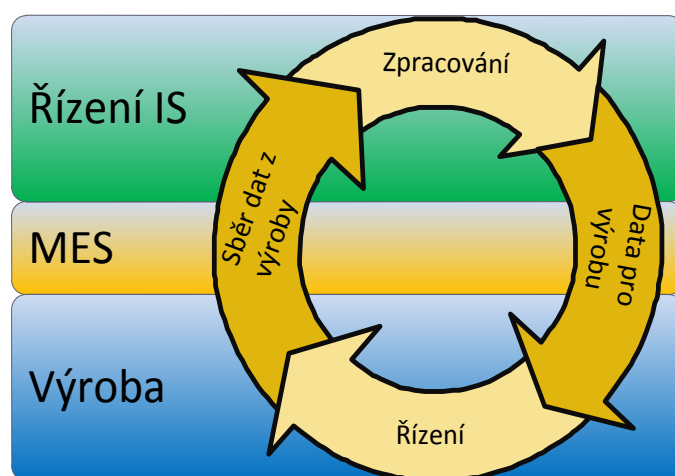
- Typu výroby (seriová, dávková, kusová), používané principy řízení výrobních procesů, způsob napojení na stávající softwarové systémy, procesy předávání zakázek do výroby a plánování výroby,

Analýza požadovaného stavu:

- Hlavní parametry, podle kterých má optimalizované plánování probíhat; oblasti, které jsou pro uživatele klíčové z hlediska plánování, způsoby prezentace plánu, rychlost a perioda vytvoření nového plánu. [18]

3.6.4 Systém MES

Dle mezinárodních standardů ANSI/ISA-95 jsou systémy MES chápány jako prostředky s velkým informačním přesahem v rámci existujících systémů v podnicích. Pracují jako spojnice mezi systémy řízení výrobních prostředků a systémy řízení podniku (ERP). Reálná data z výroby jsou přenášena do systému řízení a v druhém kroku pak zpracovaná data se přenášejí zpět do výroby. [19]



Obrázek 10 Cyklus výrobních a provozních informací [19]

Sběr dat se provádí buď ručně či automatizovaně. Automatizovaný způsob využívá senzory umístěné na strojích, či systémy automatické indentifikace (např. RFID, čarové kódy). V případě ručního zpracování, může sloužit jako prostředek dotykový terminál umístěný ve výrobě. Pro pracovníky může být takový terminál

užitečný i zpětným dohledáváním výrobně-technologických informací a pomáhá snižovat oběh papírových dokumentů. [19]

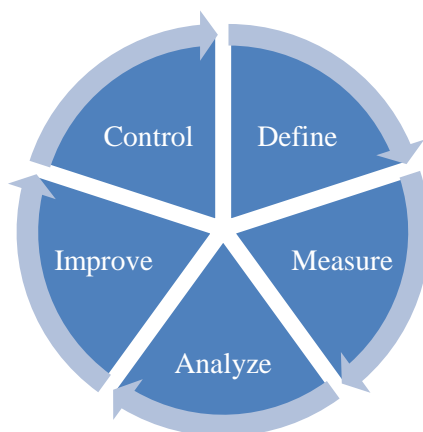
Analýzou dat lze pak dosáhnout úspor v oblasti optimalizace výroby, provozních nákladů, investic či výrobních prostředků. Dále jsou zajištěny potřebné výrobní ukazatele (např. OEE).

3.7 Optimalizace výrobních linek

Optimalizací se rozumí systematický proces, který nachází takové řešení výrobních linek, aby bylo v souladu se zásadami štíhlé výroby. Tento proces má vést ke zvýšení výkonu výrobních linek, zvýšení kvality vyráběného produktu, úsporám ploch a zlepšení pracovního prostředí. [13]

3.7.1 Fáze optimalizace

Optimalizaci můžeme chápat jako projekt, který se dá rozdělit do 5 fází dle metodiky DMAIC. Definuj – Měř – Analyzuj – Vylepši – Řízení.



Obrázek 11 DMAIC[13]

V prvním kroku je fáze přípravy. Zde se rozdělují potřebné kompetence, vytvoří se potřebný harmonogram projektu, stanoví se cíle optimalizace a rizika projektu s případným omezením.

Dalším krokem je fáze analýzy projektu. Hlavním úkolem je detailní rozbor současného stavu výrobních linek, jejich popsání z hlediska ekonomických či prostorových požadavků a sběr dat. Analyzuje se také struktura výroby, technologické postupy, činnosti operátorů a objektivita norem.

Ve třetím kroku, fáze konceptu projektu, jsou navrhovány nové varianty uspořádání výrobních linek, jejich hrubé taktování dle požadavků zákazníka. Tyto varianty se hodnotí podle zvolených kritérií. V této fázi je vhodné řešit různé varianty pomocí simulačních projektů.

Detailní koncepce je krokem čtvrtým. Nyní se již vytvoří podrobný layout výroby, pracoviště s ergonomickými standarty.

Posledním krokem je náběh výroby, během něhož by měli probíhat tréninky, případně školení pracovníků. Důležitým prvkem je neustálé pozorování možností zlepšení, aby byl dosažen požadovaný výkon linky a mohl být zahájen plný provoz výrobní linky. [13]

3.7.2 *Metody štihlé výroby*

Následující metody a nástroje se používají při zavádění štihlé výroby. Kdy se soustředíme na výrobu a cílem je mít stabilní, flexibilní a standardizovanou výrobu.

5S – souhrn pěti základních kroků, které vedou k odstranění plýtvání na pracovišti. Redukuje hlavně plýtvání nadvýrobou. Zavádí vizuální management jako zobrazení minimální a maximální úrovně výroby. Pět kroků metodiky 5S jsou Separovat, Systematizovat, Stále čistit, Standardizovat a Sebedisciplína. [13]

Analýza pracoviště – popisuje a definuje potenciály ke zlepšení, zvýšení produktivity a kvality. Cílem analýzy pracoviště jsou např. sledovat hodinový výkon pracoviště, definovat účinnost procesu, zpracovat mapu procesu a materiálových toků na pracovišti, prověřit systém údržby. [13]

VSM – nebo-li mapování hodnotového toku. Slouží jako grafický nástroj k analýze současného stavu procesu s cílem navrhnout stav budoucí. Hlavním výstupem je tzv. VA index, neboli poměr časů, které přidávají hodnotu k časům, které nepřidávají hodnotu. Dále lze získat informace o stavu a velikosti rozpracovanosti, procesní časy a množství meziskladů. [13]

MOST – metoda nepřímého měření spotřeby času pracovní činnosti. Jakákoliv činnost lze popsat sekvenčním modelem. Metoda pracuje s jednotkou TMU (Time Measurement Units). Každý parametr sekvence má předdefinovaný index a TMU. [13]

Ergonomie – je vědecká disciplína, optimalizující interakci mezi člověkem a dalšími prvky systému. Cílem je zvýšit efektivitu vykonávané práce a snížení nehodovosti na pracovišti. [13]

SMED – metodika výměny nástroje během „jedné minuty“. Jedná se o zkrácení času přetypování pod 10 minut. Činnosti lze rozdělit na externí, které se dějí při běhu stroje, a na interní, které se dějí po vypnutí stroje. Cílem je přesunout interní činnosti na externí. [13]

FMEA – analýza možností vzniku vad a jejich následků. Je to silný nástroj pro zvyšování spolehlivosti výrobků, hospodárnější výrobu či redukce záručních nákladů. [13]

QFD – nebo-li Dům Jakosti. Jde o serii matic sloužících pro plánování nového výrobku. Byl vyvinut pro odstranění problémů jako je zanedbání požadavků zákazníka, zanedbání konkurence, různé interpretace specifikací apod. [13]

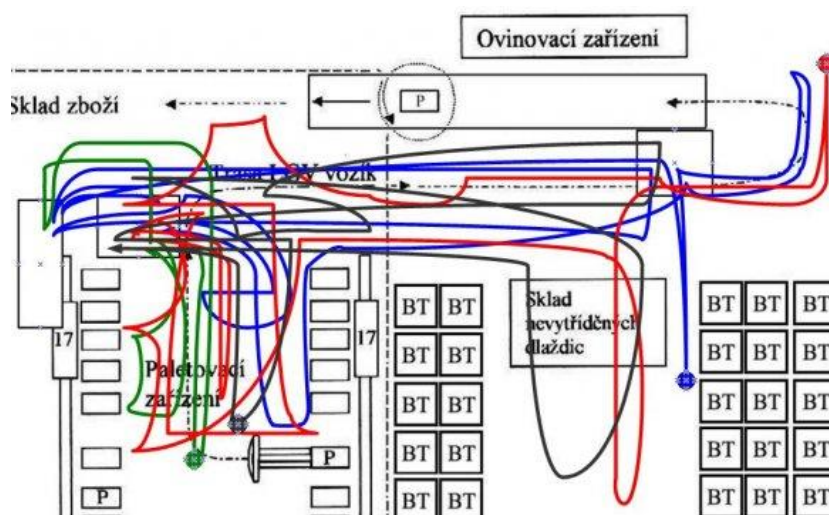
One-piece flow – tok jednoho kusu, je způsob výroby, při kterém výrobek prochází jednotlivými operacemi bez přerušení a čekání. Protikladem je výroba v dávkách. Tok jednoho kusu je nejideálnějším příkladem výroby. [13]

Ukazatel OEE – celková efektivita zařízení. Zabývá se faktory, které ovlivňují využívání strojů a zařízení. Skládá se z míry využití, míry výkonu a míry kvality. OEE můžeme vypočítat pak jako součin těchto tří parametrů. [13]

3.7.3 Výstupní hodnoty a cíle optimalizace

Zpracováním procesu optimalizace se má dospět k předem stanovenému cíli. Výstupem se rozumí návrh, analýza či vyhodnocení, podle kterého se bude postupovat v implementaci takového zlepšení.

Mezi takové výstupy patří např. Spaghetti diagram pohybu pracovníků. Tento diagram nám pak ukazuje, kde jsou nejfrekventovanější místa výroby, dává nám možnost přeuspořádat pracoviště tak, aby byl pohyb co nejkratší. Pro materiálový tok se užívá Sankyeův diagram. Ten nám ukazuje hodnotu materiálového toku, který proudí mezi jednotlivými pracovišti. Tyto diagramy nám pak slouží pro přeuspořádání výroby a tvorbu nového detailního layoutu výrobních linek.[13]



Obrázek 12 Spaghetti diagram [13]

Pro výrobní činnosti je jako cíl optimalizace bráno porovnání norem mezi přímými náměry na pracovišti a metodou MOST.

Celková optimalizace přispívá ke zlepšení výrobního procesu a neměla by být brána jako jednorázové projekty, nýbrž jako proces neustálého zlepšování. Také by se nemělo na optimalizaci pohlížet lokálně, jelikož lokální optimum není to samé, jako globální optimum.[13]

3.8 Dopravníky

Dopravníky jsou aktivním prvkem logistických systémů. Účelem aktivních prvků je provádět netechnologické operace. Klasifikaci aktivních prvků můžeme rozdělit dle druhu operací, pro které je aktivní prvek určen a druhu přesměřovacích pohybu, které je prvek schopen vykonávat tj.:

- Manipulační prostředky a zařízení
- Dopravní prostředky
- Skladovací systémy
- Další

Dopravníky se řadí do manipulačních zařízení s plynulým pohybem. Jsou ideálním řešením pro mezioperační dopravu součástí a polotovarů. [10]

3.8.1 Druhy dopravníků

Dopravníky můžeme dělit dle [10] na:

- Podvěsné s vlečnými vozíky

jsou řetězové podvěsné dopravníky, kde k unášecímu řetězu jsou připojovány kolové vlečné vozíky. Vozíky obíhají po uzavřeném okruhu.

- Podlahové vozíkové

Mají základ obíhající tažný řetěz, ke kterému se připojují kolové plošinové vlečné vozíky. Řetěz je zakryt a veden zpravidla ve žlabu pod podlahou.

- Pásové a lanopásové

Jsou nejpoužívanějším druhem dopravníků. Rychlost pásů se volí v závislosti na druhu přepravovaného materiálu. Pásové dopravníky mohou být stabilní, pojízdné nebo přenosné. Materiál pásů může být pryžový, či pro speciální účely i ocelový nebo pletivový.

- Žlábové

Přemisťují materiál v otevřeném žlabu hnutím nebo vlečením pomocí unášeců.

- Článekové

Přemisťují materiál pomocí pásu složeného z článků, nesených řetězy. Lze použít i pro kusový materiál v případech, kdy materiál nelze přemisťovat pomocí běžných pásových dopravníků.

- Řetězové podvěsné

Přemisťují materiál v uzavřeném okruhu po drahách různých tvarů vedených nad úrovní podlahy. Jejich činnost lze dobře automatizovat a jsou schopné vykonávat i složitější sled operací.

- Pneumatické

Jsou druhem potrubní dopravy využívající vzduchu jako pomocného média. Materiál buď zcela vyplňuje průřezovou plochu potrubí, nebo je unášen proudícím vzduchem v rozptýleném stavu.

- Hydraulické

Využívají vody jako pomocného média. Proudem jsou unášeny částice materiálu, a to ve žlábech nebo v potrubí. Dosažitelná vzdálenost může přesáhnout 100km.

Dále do dopravníků můžeme zařadit i různé tratě, visuté dráhy, skluzy, různé druhy elevátorů, nakladačů a vykladačů.

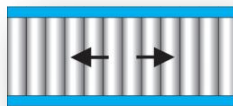
3.8.2 Válečkové tratě

Hnané válečkové tratě slouží k přemísťování výlučně kusového materiálu. Tratě mají stavebnicový charakter. Mohou být přímé, obloukové, jednoduché nebo rozvětvené, v jedné i více řadách apod. Je možno je kombinovat s nepoháněnými válečkovými tratěmi, různými typy dopravníků, se skluzy, s výtahy a s různými vozíky. Hnané válečkové tratě je možné snadno automatizovat.

Nepoháněné válečkové tratě slouží k ruční manipulaci. Mohou mít spát a sloužit ke gravitační manipulaci.

Flexibilní dopavní a manipulační technika:

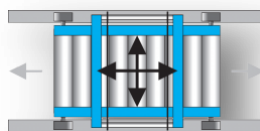
- Rolnové dopravníky



Obrázek 13 Rolnový dopravník[20]

Bývají poháněné nebo nepoháněné pro gravitační dopravníky. Jsou tvořeny tzv rolnou, což je obvykle pozinkovaný válec, který je připevněn pomocí ložisek k rámu dopravníku.

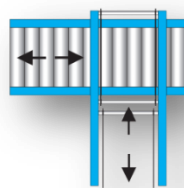
- Transférové vozíky



Obrázek 14 Transférový vozík[20]

Slouží k přemísťování ve dvou směrech, v příčném a podélném.

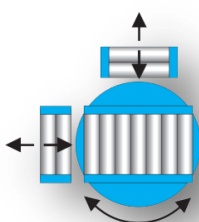
- Rohové překladače



Obrázek 15 Rohový překladač[20]

Slouží ke změně směru pohybu materiálu. Paleta po změně směru mění i své natočení.

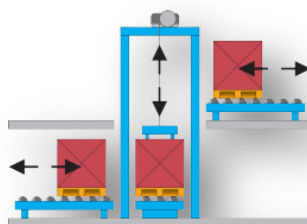
- Otočné stoly



Obrázek 16 Otočný stůl[20]

Slouží ke změně směru podobně jako rohové překladače, pouze s tím rozdílem, že úhel natočení může být různý od 90° (může nabývat hodnot od 15° do 180°)³. Paleta pak nemění své natočení.

- Svislé dopravníky

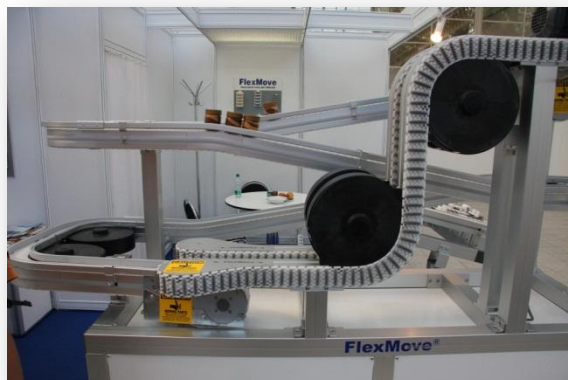


Obrázek 17 Svislý dopravník[20]

Je mezičlánkem pro dvě úrovně dopravníků. Svislé dopravníky mohou být stejně jako na Obrázek 17 výtahového typu, nebo mohou být tvořeny flexibilním prvkem,

³ Otočný stůl firmy Blume Rollen

který se natočí do vertikálního směru (Obrázek 18, zobrazuje svislý dopravník firmy FlexMove⁴, foceno na MSV Brno 2009).



Obrázek 18 Příklad dopravníkové tratě se svislým dopravníkem

Na následujícím obrázku (Obrázek 19) je příklad válečkové tratě složené z různých typových prvků. Jedná se o obrázek pořízený na stánku firmy Interroll Holding AG na Mezinárodním strojírenském veletrhu, Brno 2009.



Obrázek 19 Příklad válečkové tratě

⁴FlexMove System (M) Sdn Bhd www.flexmove.com

3.9 Vývojové diagramy

Vývojovým diagramem rozumíme průběh a stavbu programu či procesu. Jejich použití je všestranné, můžou se používat jak pro pochopení činnosti, tak pro zhotovení nového sledu prací. Dovoluje názorným způsobem formulovat postup řešení daného úkolu s vyznačením všech jeho možných alternativ. [21]

3.9.1 Základy diagramů

Vývojové diagramy se skládají z přesně definovaných značek s jejich jednoznačným významem a řídí se pravidly pro vzájemnou interakci. Tyto obrázky představují úkony či rozhodnutí, které musí být v danou chvíli provedeny.

Pro kreslení vývojových diagramů platí česká norma ČSN ISO 5807 „Zpracování informací. Dokumentační symboly a konvence pro vývojové diagramy toku dat, programu a systému, síťové diagramy programu a diagramy zdrojů systému“ [22], [23]

Norma specifikuje symboly používané v dokumentaci a poskytuje postup pro jejich využívání. Vývojový diagram je pak definován jako zobrazení posloupnosti operací a skládá se z následujících prvků:

- Symbolů pro vlastní operace zpracování
- Spojnic indikujících tok dat
- Zvláštních symbolů pro usnadnění čtení a zápis

3.9.2 Symboly vývojových diagramů

Symboly vývojových diagramů představují grafické značky. Pro ujasnění funkce symbolu je do nich vpisováno slovní či symbolická specifikace operace. Způsob psaní není definována normou. Tímto se zajistí čitelnost vývojových diagramů a jejich snadné pochopení. [8]

4 Řešení diplomové práce

Pro vlastní simulaci byl použit program Plant Simulation z edice Tecnomatix od firmy Siemens AG. Důvodem pro zvolení Plant Simulationu bylo zakoupení tohoto programu ve firmě Behr a demonstrace jeho nadstandartních modulů, které obsahují pokročilé možnosti simulace.

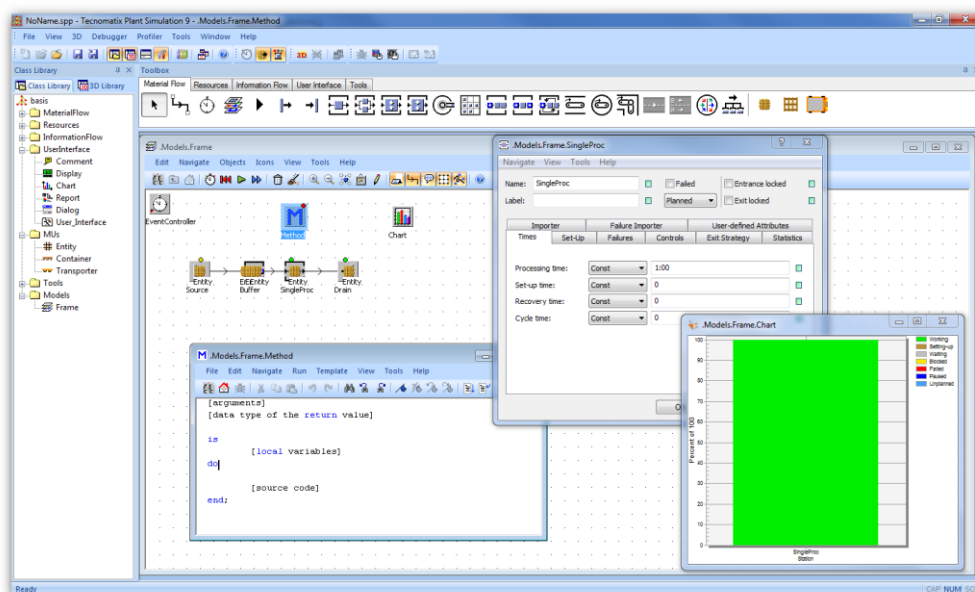
4.1 Siemens Tecnomatix Plant Simulation

Je výkoný nástroj od společnosti Siemens PLM Software pro modelování, simulaci a optimalizace logistických systémů. Lze jím vytvořit dynamický digitální model, který je svým chováním velmi blízký realitě.

Používají se grafické nástroje pro vyhodnocení analýzy a variant řešení dle scénářů: „co nastane, když ...“. Tyto varianty lze jednoduše animovat pro prezentace výsledného návrhu.[24]

4.1.1 Základní vlastnosti Plant Simulation

Architektura je objektově orientovaná, tzn. pracuje s předdefinovanými objekty vyjadřující jednotlivé prvky systému. Tyto objekty lze pro dané varianty dále nadefinovávat uživatelskými atributy. Stejně jako lze vytvořit nové uživatelské objekty a vkládat do knihoven. Plant Simulation obsahuje velkou škálu knihoven s objekty pro lepší popis modelu.[25]



Obrázek 20 Prostředí Plant Simulation [vlastní]

Prostředí (Obrázek 20) je interaktivní, nebo-li používá se jedno prostředí pro modelování, simulaci a výslednou animaci návrhu. Stejně lze prezentovat pouze 2D model nebo pro lepší názornost lze tento model převést do 3D.

Pro lepší řídicí logiku modelu nabízí Plant Simulation vestavěný programovací jazyk SimTalk (varianta C++) pro psaní „Metod“, které řídí činnosti objektů.[25]

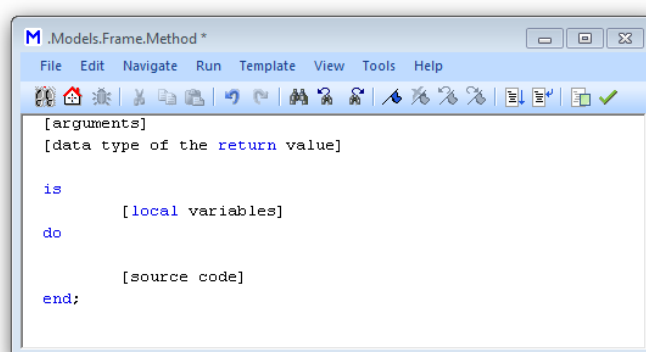
4.1.2 Porovnání licencí Plant Simulation

Plant Simulation se nabízí v 7 druhů licencí. Jsou to Student, Education, Research, Runtime, Application, Standart, Professional.

Licence Student, Education a Reserch jsou pouze pro nekomerční využití. Porovnání licencí je uvedeno v Příloha č.5. Licence Application je pro používání v komerční sféře dostatečná. Pokud, ale společnost potřebuje využít výhod pokročilejší metody simulace, bude muset přistoupit k upgradu na vyšší verzi, kde jsou obsaženy např. metody pro programování výrobního toku.[24]

4.1.3 SimTalk a Method's

Programovací jazyk, který je variantou k C++, využívá unifikované názvy prvků v simulaci. Proto se lze odkazovat přímo na jednotlivé prvky a jejich atributy. Spouštění objektu „Method“ (řídících procedur) obstarávají jednotlivé objekty v závislosti na strategii řízení. Při průchodu „MU“ (entita) objektem se tato strategie aktivuje a odkáže se na příslušnou „Metodu“, která poté vykoná příslušné instrukce.



Obrázek 21 Základní okno při programování „Method“ [vlastní]

Arguments – začíná se tím struktura programu. Pokud není potřeba zadávat argument, pak se tu nic nedefinuje,

Data type of the Return Value – zadává se datový typ případného výstupu,

is – klíčové slovo oddělující deklaraci argumentů od deklarace lokálních proměnných,

Local Variables – zadávání proměnných a jejich datový typ, pokud není potřeba zadávat proměnnou, pak se nemusí zadávat,

do – klíčové slovo značí začátek zdrojového kódu,

Source Code – zdrojový kód, který „Methoda“ vykonává. Mohou se zde zadávat předdefinované „Methody“, přiřazování objektů, kontrolní struktury, odvolávací metody a smyčky,

end – klíčové slovo zakončené středníkem, označuje konec zdrojového kódu.

Způsob psaní zdrojového kódu

Díky unifikovaným názvům atributů a prvků je odkazování logické. Obvyklý zápis je daný předlohou:

```
<cesta>.objekt.<atributy>;
```

Příkladem může být výše uvedený obrázek metody (Obrázek 21), kde je uvedena cesta k dané „Metodě“,

```
.Models.Frame.Method;
```

kde „Models“ značí hlavní adresář s modelem, „Frame“ je hlavní pracovní plocha na, které je vložena „Methoda“.[25]

4.2 Výchozí stav

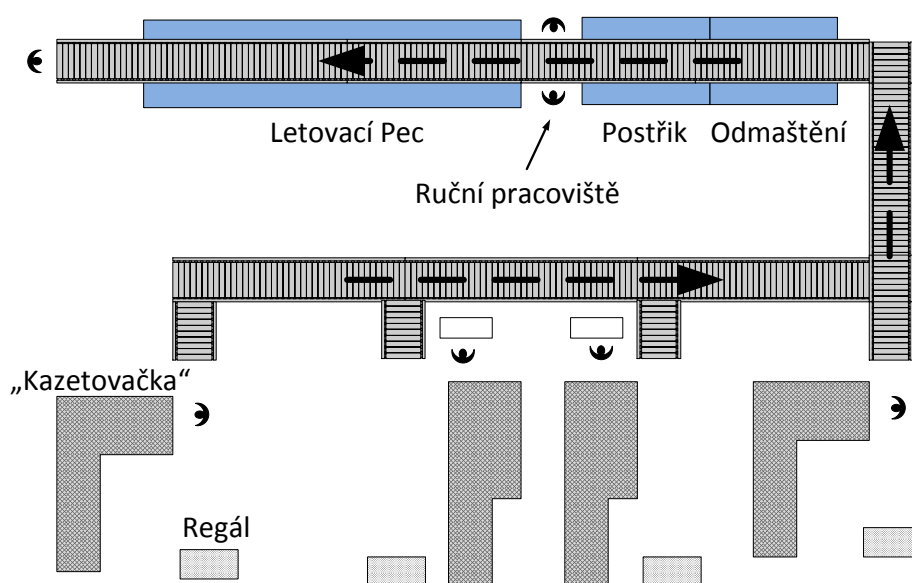
Pro vytvoření simulačního modelu a následnou optimalizaci, byla zvolena linka pro výrobu a letování bloku automobilových chladičů a kondenzátorů.

Veškerá data, která byla potřebná pro řešení práce, se získávala v průběhu modelování. Některá šla snadno vyexportovat z vnitřní databáze, ale některá bylo nutné naměřit přímo ve výrobě.

V rámci utajení firemního know-how bylo nutné pro řešení diplomové práce pozměnit názvy výrobků a použít unifikované hodnoty pro tabulku odvolávek, tj. časy a velikost dodání. Pro samotnou simulaci to nemá zásadní vliv, který by se mohl projevit ve funkci optimalizace.

4.2.1 Layout a popis výroby

Layout výroby byl překreslen do blokového schématu, měřítko výkresu se zachovalo z důvodu potřebné délkové kapacity dopravníků. Takto je umístěn v příloze s vyznačením jednotlivých pracovišť a směrem pohybu rámu na dopravníku. Na Obrázek 22 je schématicky překreslen layout (layout otočen o 90°) výroby s označením jednotlivých pracovišť. Originální layout je z důvodu ochrany firemních dat vynechán.



Obrázek 22 Schéma layoutu [vlastní – překresleno z layoutu firmy Behr Czech]

Výroba bloků začíná v tzv. kazetovačce. Což je stroj, který z pásu vytváří lamely do předepsaných patentovaných tvarů. Ty se následně skládají s plochými trubkami do bloků, které se slisují s bočnicemi, či s případně dalšími součástkami. Takto vytvořený blok se umístí na rám, který se po zaplnění přemístí na válečkový dopravník. Po něm rám putuje až k letovací peci. Tam v předpřípravě pro letování dojde k odmaštění bloků, pak k máčení v letovací směci a těsně před letovací pecí skončí na ručním pracovišti. Zde se osadí některé výrobky dalšími součástkami, krytkami či v případě velkých chladičů a kondenzátorů umístí dva rámy na sebe a pootočí. Pak již následuje letovací pec, kde dojde ke spojení veškerých součástí. Na konci letovací pece se ručně odebírají výrobky z rámu a skládají se do pojízdných kontejnerů. Bloky se pak na externím zařízení testují na těsnost a sestavují se s dalšími plastovými součástkami. Takto hotové jdou do koncového skladu.

Letovací pec obsluhuje celkem čtyři kazetovačky, které odbavuje společná válečková trať. Pro vložení rámu na dopravníkový systém má kazetovačka vždy větší prioritu, proto když chce obsluha vložit rám na dopravník, musí stisknout tlačítko. Stisknuté tlačítko vysune trny na dopravníku, o které se zastaví předešlé rámy. Takto se vytvoří mezera pro nový rám. Výsledkem je systém priorit jednotlivých pracovišť, kdy pracoviště nejbližší peci má nejvyšší prioritu a nejdále umístěné má nejmenší prioritu. Pak může dojít, při výrobě vyšší než kapacita pece, k zablokování této nejvzdálenější kazetovačky.

4.2.2 *Vstupní hodnoty pro tvorbu*

Data byla získávána průběžně s postupem tvorby simulačního modelu a jejich použití se konzultovalo přímo v podniku. Díky tomu je zajištěno potřebné množství a kvalita informací pro simulaci a plánování výroby, tak aby se chování modelu dostatečně přiblížilo realitě.

Při získávání dat se nevyskytly žádné zásadní problémy. Co nebylo možné vyčíst přímo z ERP systému SAP, tak se zjistilo přímo v gembě (ve výrobě). Příkladem náměru jsou časy sestavení (tabulku s časy výroby neuvádím z důvodu utajení, v modelu s nimi však kalkuluji), výměny pásového svítka (coil), jejich hmotnost (Tabulka 5) a počety obalů v regálech (Tabulka 4).

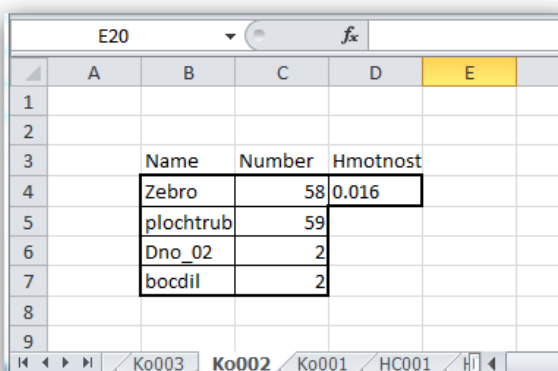
Tyto hodnoty byly zapsány do souboru ve formátu MS Excel tak, aby bylo možné je načítat do simulačního modelu. Pak lze při změně některých parametrů provést rychlou aktualizaci a simulovat s aktuální hodnotou.

Jako hlavní zdroj byla vytvořena řídicí tabulka (Tabulka 2), která obsahuje seznam vyráběných bloků (Name). Druhý sloupec (Assembly) musí zůstat prázdný, neboť Plant Simulation si zde vytvoří vnořenou tabulku s kusovníkem, který bude načítat, dle názvu bloku, z příslušných listů v Excel souboru (Obrázek 23). Ve třetím sloupci (Ass_Ram) je počet kusů výrobků umístěvaných na jeden rám zajišťujícím polohu výrobku na dopravníku a v pájecí peci. Čtvrtý sloupec (Destination) se odkazuje na pracoviště, které tyto bloky vyrábí.

Tabulka 2 Řídící tabulka [Data_X.xlsx]

Name	Assembly	Ass_Ram	Destination
Ko003		2	K04
Ko002		2	K04
Ko001		2	K04
HC001		10	K00
HC002		10	K00
HC003		10	K00
Ko101		2	K01

Kusovník je zjednodušený, což výsledné řešení simulace neovlivní. Blok se skládá ze žebra a z plochých trubek, pak ze součástek, které se nachází v regálu. Tabulka na Obrázek 23 obsahuje seznam komponent na kus (Number/Hmotnost). Více informací není potřeba znát pro řešení simulace.



	Name	Number	Hmotnost
	Zebro	58	0.016
	plochtrub	59	
	Dno_02	2	
	bocdil	2	

Obrázek 23 Příklad řešení kusovníku [Data_X.xlsx]

Pro časy zpracování je vytvořena jednoduchá tabulka, která z důvodu utajení není uvedena v diplomové práci. Pro časy přeseřizování je vytvořena tabulka ve formě matice (Tabulka 3). Na tyto tabulky se pracoviště samo odkazuje a podle názvu výrobku si najde čas zpracování a případného přenastavení.

V případě „SetUp“ matice (matice pro přeseřizování) bylo nutno také zohlednit přenastavení na začátku výroby, kdy na objektu „Assembly“ přichází první výrobek. Nulový čas je dán tím, že nabíhání výroby se počítá již s nastaveným systémem na danou součástku.

Tabulka 3 Matice SetUp time [Data_X.xlsx]

-	Ko001	Ko002	Ko003	Ko101	HC002	HC003	HC001
-	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
Ko001	0:00:00		0:45:00	0:45:00			
Ko002	0:00:00	0:45:00		0:45:00			
Ko003	0:00:00	0:45:00	0:45:00				
Ko101	0:00:00						
HC002	0:00:00					0:20:00	0:20:00
HC003	0:00:00				0:20:00		0:20:00
HC001	0:00:00				0:20:00	0:20:00	

Pro informace ohledně součástí, které se nachází v kusovníku je vytvořena tabulka s počty kusů v jednom balení a počet balení v regálu (Tabulka 4). Dále je u každého uvedena informace, kam toto balení patří. Pro kazetovačky K02 a K03, které jsou výrobně zaměnitelné, je použito společné označení K00.

Tabulka 4 Obsah balení a jejich počet v regálu [Data_X.xlsx]

Name	Number	pocet	Des
Dno_01	100	3	K04
Dno_03	100	3	K04
bocdil	450	2	K04
Dno_02	100	3	K04
Dno_HC	100	4	K00
vikoUPL	100	4	K00
viko	100	4	K00
bocdilD	300	3	K01
SberTrubka_LE	70	3	K01
SberTrubka	70	3	K01

Podobná tabulka (Tabulka 5) je vytvořena také pro pásový svitek (coil), ze kterého se vytváří žebra. Každý výrobek má různý pásový svitek, který má svou určitou hmotnost.

Tabulka 5 Hmotnost Coilu a počet na palatě [Data_X.xlsx]

Coil	Hmotnost	Pocet	Destinace
Ko001	44,5	22	K04
Ko002	70	14	K04
Ko003	75,5	13	K04
Ko101	65,4	13	K01
HC001	62,1	15	K00
HC002	62,1	15	K00
HC003	62,1	15	K00

Stejně tak pro počty trubek, které lze vložit do kazetovačky jsou dané tabulkou (Tabulka 6). I zde platí stejné označení zaměnitelných kazetovaček K00.

Tabulka 6 Počty jednotlivých trubek vkládaných do kazetovačky [Data_X.xlsx]

Name	Number	Destination
Ko001	7200	K04
Ko002	6800	K04
Ko003	6400	K04
HC001	7200	K00
HC002	7200	K00
HC003	7200	K00
Ko101	6400	K01

Pro vytvoření reálného modelu bylo zapotřebí zanést i informaci o poruchách strojů. Jsou dané dostupností, která je vyjádřena v procentech a střední dobou pro odstranění poruchy. Dostupnost je měřená, bohužel MTTR nebylo možné dohledat, proto byly doporučeny předpokládané intervaly trvání poruch pro dané zařízení a výsledná hodnota byla zvolena uprostřed intervalu.

Tabulka 7 Informace o poruchách kazetovaček [Data_X.xlsx]

Name	Availability [%]	MTTR [time]
K_K04	97,80	11:30.0
K_K03	93,10	07:10.0
K_K2	98,30	08:40.0
K_K01	95,20	13:00.0

Z výše uvedených tabulek je již možné řídit základní parametry pro simulaci. Další parametry jako jsou rychlosti dopravníků, vlaku na milkrunu apod., jsou pevně dané již v simulaci a nenačítají se z tabulek.

4.3 Tvorba základního modelu

Při tvorbě modelu se lze vydat dvěma rozdílnými cestami. V první řadě využít základních prvků na maximální možnou mez a dále již využívat pro řízení funkci „Method“. Nebo používat již tuto funkci od samého počátku, kdy se vloží základní prvek a jeho činnosti s řízením se naprogramují. V rámci řešení práce byla dána přednost druhé variantě.

V závěru je tomuto rozdílu věnována kapitola popisující výhody a nevýhody simulace pomocí funkce „Method“ oproti simulaci pomocí základních prvků, které jsou vzájemně propojeny.

4.3.1 Postup tvorby modelu

Pro korektní vytvoření celkového modelu byly nejprve vytvořeny simulace základních prvků výrobní linky (letovací pece, mlékárny, kazetovačky a jednoduchého plánování výroby). Na těchto základních modelech byla odzkoušena problematika programování pomocí objektu „Method“.

Nejprve bylo nutné vytvořit a definovat parametry pro základní pohyblivé entity – výrobky a jejich polotovary, ze kterých se skládají. Dále bylo třeba vytvořit základní návrh dopravníků v příslušném měřítku. K tomu posloužil layout linky poskytnutý podnikem, kde bylo měřítko dané roztečí sítě, tj. 6m.

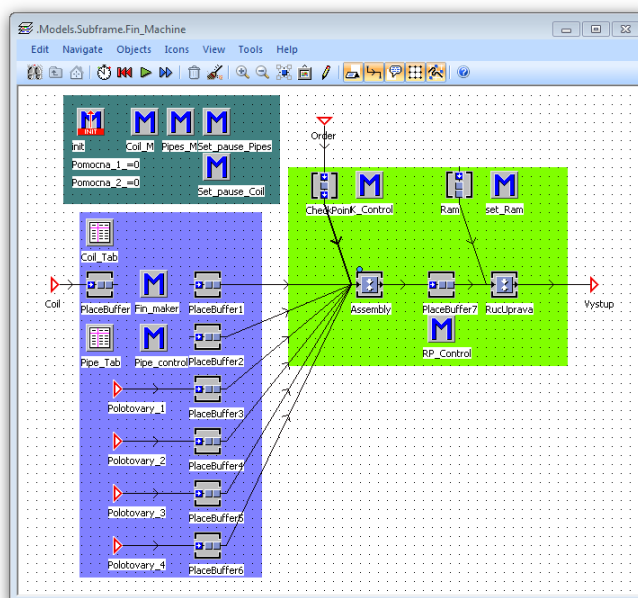
Výrobní subsystémy byly vybrány tři – kazetovačku, její regál a přípravu coilů. Nevýrobní subsystémy se vytvořily dva – řídicí a plánovací. Tyto subsystémy byly pak nakopírovány do layoutu a přejmenovány na požadované názvy, pro usnadnění orientace.

Tabulka 8 Popis pracovišť vyskytující se v modelu

Kazetovačka	Regál	Příprava coilů
K_K04	R_K04	P_K04
K_K03	R_K03	P_K03
K_K02	R_K02	P_K02
K_K01	R_K01	P_K01

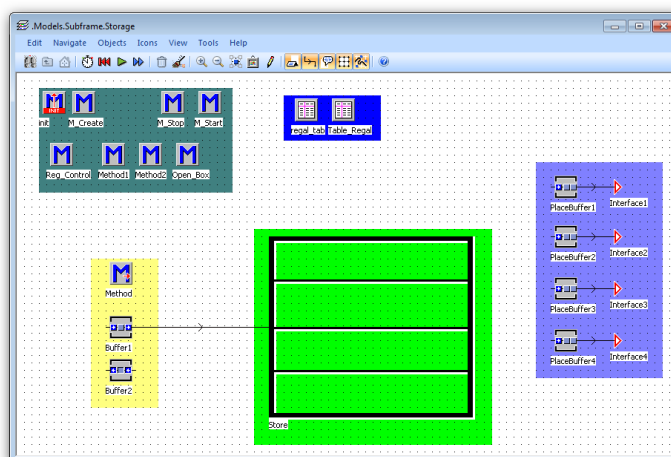
Na následujících obrázcích jsou vidět řešení jednotlivých subsystémů. Kazetovačka, regál a fronta výrobků se řeší přes subsystémy umožňující zachovávat dědictví vlastností rodičovských předchůdců. Veškerá nastavení objektů, či přepis

„Method“, se odehrávají v tomto „Frame“ (subsystém) a jeho deriváty (děti) pak přebírají jeho vlastnosti automaticky.



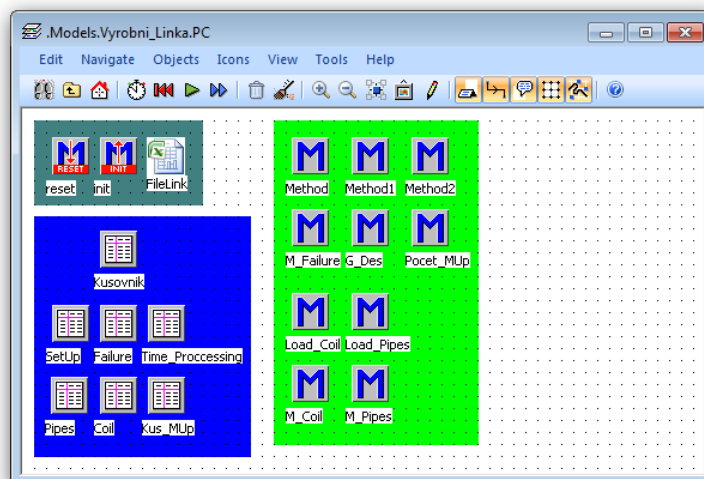
Obrázek 24 Subsystém Kazetovačka [DP_Model.spp]

Základním subsystémem je samotný stroj – kazetovačka (Obrázek 24). Šedá oblast vyznačuje řídicí systémy, vyjma objektu „K_Control“, který spouští veškeré funkční programy podle názvu daného výrobku.



Obrázek 25 Subsystém Regál [DP_Model.spp]

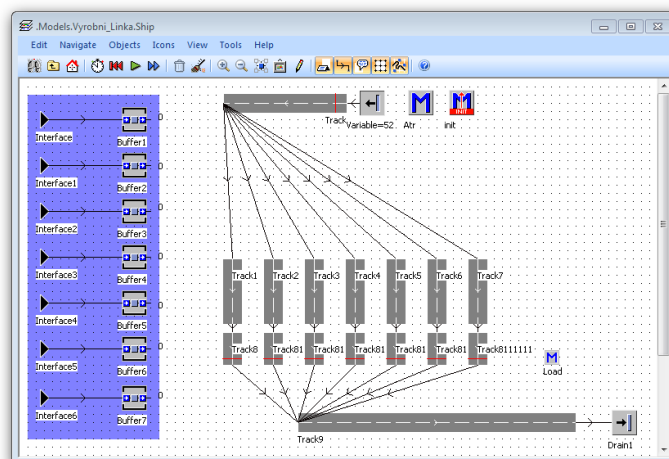
Regál (Obrázek 25) je standardně řešen pomocí objektu „Store“ (Zásobník/sklad), jelikož se zde může odkazovat přímo na jednotlivé entity, které tu jsou umístěné. Přináší to i nevýhodu, že nelze jednoduše zjistit četnost obsazení jednotlivými polotovary.



Obrázek 26 Kontrolní subsystém (PC) [DP_Model.spp]

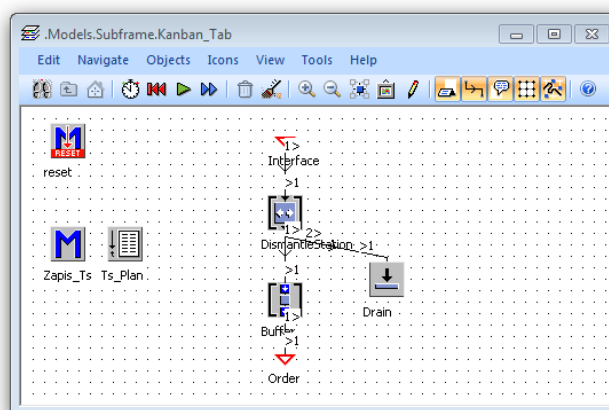
Subsystém (Obrázek 26) s centrálními daty je nazván „PC“. Zde jsou umístěny tabulky s daty, které se načítají ze souboru (Data_X.xlsx). Řídící funkce jsou volány z jednotlivých subsystémů. Odkazují se do příslušných tabulek a vracejí, buď hodnotu či řádek, na které jsou hodnoty obsaženy. Díky těmto funkcím je celý model parametrický a proto záleží pouze na řídicím souboru „DATA_X.xlsx“, jaké výrobky obsahuje a, další případné hodnoty, viz tabulky výše.

Pro zjištění, zda systém odvádí včas potřebný počet výrobků, je vytvořen kontrolní subsystém (Obrázek 29) s odběrem výrobků na základě odvolávek. Zde se vygeneruje transportér, který získá atribut názvu příslušné odvolávky a počet odvolávaných kusů. Pokud se na příslušném „Bufferu“ nenachází požadovaný počet, pak transportér čeká, než se naplní a poté se teprve celá odvolávka přesune na transportér. V tu chvíli se zapíše čas odebrání do tabulky a spočítá se velikost zpoždění celé odvolávky.



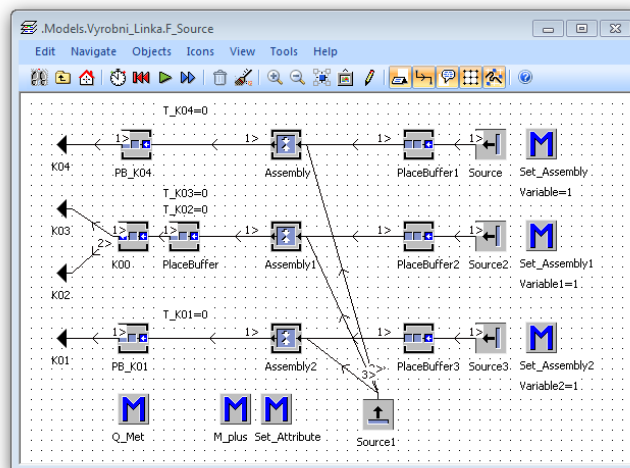
Obrázek 27 Jednoduchý odběr na základě odvolávek [DP_Model.spp]

Před kazetovačkou je také vytvořen jednoduchý subsystém pro kontrolu vytížení kazetovačky (Obrázek 28). Tento subsystém vrací hodnotu posledního výrobku ve frontě, velikost fronty a obstarává funkci zápis času při příchodu jedné dávky. Takto je vytvářen plán pro výrobu na daném, pracovišti.



Obrázek 28 Subfrám pro zápis a kontrolu sekvence výrobků [DP_Model.spp]

Na začátku celé výrobní linky byl vytvořen rozhodovací subsystém. Obsahuje objekt „Source“ (Zdroj pro generování entit), který je řízen procedurou využívající výrobní tabulku ze subsystému „Planner“. Dále jsou vloženy objekty Assembly (sestavení) a Diassembly (rozpad) stationa to z toho důvodu, aby celá odvolávka byla vyráběna na jednom stroji. Rozhodování je naprogramováno v rámci objektu zásobníku („Buffer1“), kde se analyzuje porucha na stroji, kterým předchází. Pokud je jeden ze strojů porouchaný, pak se další zakázky přesunou na druhý, kompatibilní stroj.



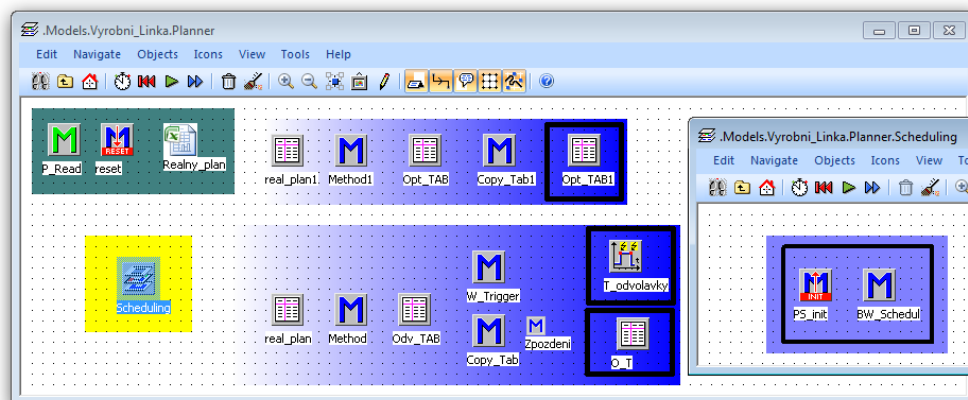
Obrázek 29 Jednoduchý systém pro přesun objednávek [DP_Model.spp]

Celý systém se odkazuje na fiktivní plán výroby, který je dán tabulkou (Tabulka 9). Tato tabulka obsahuje fiktivní počty kusů pro výrobu, které by měly být v souladu s úpravou ostatních parametrů oproti realitě. V řádku obsahuje datum a čas kdy má být odvolávka uskutečněna. Společné časy pro odvolávky jsou způsobené tím, že v Behr Czech s.r.o. jsou pevně dané termíny odvolávek.

Tabulka 9 Plán výroby [Data_plan.xlsx]

Datum	Ko001	Ko002	Ko003	HC003	Ko101	HC001	HC002
17.3.2010 22:00	240	0	480	1680	620	900	300
18.3.2010 22:00	240	120	720	1870	640	900	0
19.3.2010 7:00	120	0	720	1870	640	900	300
21.3.2010 22:00	0	120	1080	1440	620	900	0
22.3.2010 22:00	120	120	360	1870	1400	900	0
23.3.2010 22:00	120	0	480	1720	1200	900	300
24.3.2010 22:00	120	0	840	1870	1200	900	0
25.3.2010 22:00	240	0	840	1870	1200	900	0
26.3.2010 7:00	120	0	840	1870	600	900	300

Aby bylo možno vyrábět s dostatečným předstihem, bylo třeba vytvořit jednoduchý plánovací systém. Tento systém plánuje do neomezených kapacit a kalkuluje pouze s potřebnou dobou výroby, která je počítána jako doba strávená pohybem po dopravníku a doba potřebná k výrobě jedné dávky.



Obrázek 30 Základní zaplánování, výpočet zpoždění [DP_Model.spp]

4.3.2 Problematika tvorby modelu

Při tvorbě simulace je nejnáročnější sběr dat, v tomto případě však bylo náročné rozhodování, jaké funkce nejlépe popíší daný problém. Ať se jednalo o modelování regálu se správným odpisem součástí, či správná funkce kazetovačky. Zpravidla bylo nutné vybrat a vyzkoušet nejvhodnější příkaz, pro řízení v objektu „Method“, z celé řady přípustných možností připadající v úvahu pro dané řešení problému.

Příkladem může být již zmíněný regál, kdy na začátku bylo v subsystému celkem 11 objektů „Method“. Postupným prohlubováním znalostí problematiky se dospělo k zjednodušení až na výsledných 9 objektů „Method“.

Většinu složitého rozhodování vyřešilo odkazování na „Methody“ v subsystému „PC“, které vracejí potřebný parametr. Nyní většina „Method“ obsažená v subsystému se mohla naprogramovat pro získávání konkrétních hodnot podle parametru, který byl získán.

Co se týče zaplánování výroby, problém se vyskytnul při převádění zaplánovaných časů do objektu „Trigger“ (Spouštění), která pak řídí objekt „Source“. Toto se vyřešilo pomocí cyklů v programování „Method“. Pro správnou funkci genetického algoritmu bylo nutné opustit tento způsob generování součástí a přešlo se na generování výrobků pomocí tabulek.

4.3.3 Používání objektu „Method“

Jaký již bylo řečeno, objekt „Method“ slouží k rozšíření logiky řízení materiálového toku. V některých případech lze touto funkcí i zcela nahradit případné základní prvky. Záleží však na uživateli, kterou cestou se vydá.

Při používání základních prvků může nastat situace, kdy se tento prvek zablokuje, a uživatel bez zkušeností nemusí najít řešení tohoto problému. V případě „Method“, ačkoliv obsahuje režim odstraňování chyb (Debugger) je zas složité dohledat řádek, který způsobuje chybu při zpracování „Methody“.

Co se týká odstraňování problému, tak u jednoduchých modelů bez řídicích prvků pomáhá přepracování dané části. Při programování řídicího prvku lze vyřešit případný problém prohozením řádků, či vytvoření nové „subMethody“ volané z hlavní „Methody“.

A. Úpravy modelu

Při používání „Method“ jako rozšiřujícího prvku se vychází ze vstupů (Entrance) a výstupů (Exit) na objektech. Entita (výrobek) vstoupí na objekt a aktivuje vstupní signál, který může spustit příslušnou „Metodu“, pokud je přiřazena. Stejně tak na výstupu z objektu. Rozlišují se dva signální stavy na vstupu a výstupu (Front, Rear), to jest stav před vstupem a stav za vstupem, či před výstupem a za výstupem (Obrázek 31).



Obrázek 31 Místa pro aktivaci „Method“ [25]

Další způsob aktivace „Method“ jsou tzv. pozorovatelé (Observers), které se spouští pouze při určitém stavu objektu. Příkladem mohou být stavy, kdy je objekt plný nebo prázdný apod. Případně řízení (Controls), které spouští „Methody“ právě tehdy, když je objekt ve stavu pauzy, poruchy atd. Tyto funkce rozšiřují další možnosti ovládání modelu a dodávají modelu na větší realitě chování.

B. Tvorba vývojových diagramů

Základní předpoklad správného naprogramování „Method“ a pochopení logiky procesu, je vytvořit si vývojový diagram příslušné „Methody“. Případně pro výslednou dokumentaci k modelu lze takový to diagram vytvořit.

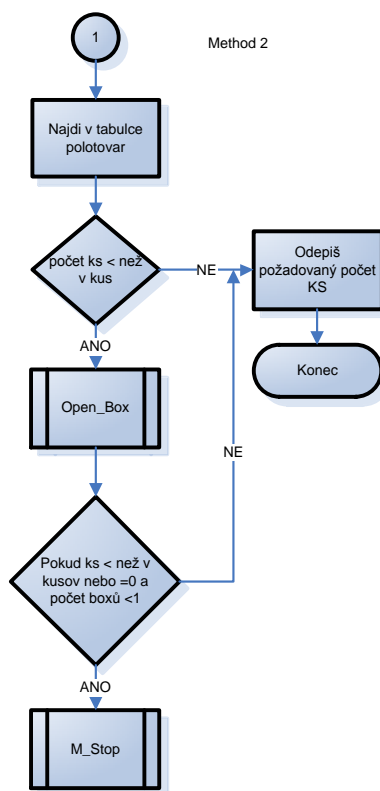


Diagram 2 Vývojový diagram subsystém Regál - Method2 [vlastní]

Pro informaci ohledně náročnosti modelu a pro pochopení činnosti jednotlivých subsystémů, jsou v přílohách uvedeny vývojové diagramy základních „Method“. Konkrétně jsou tu uvedeny subsystémy Kazetovačka (Příloha 1), Regál (Příloha 2) a PC (Příloha 3).

C. Naprogramování „Method“

Samotná práce v prostředí objektu „Method“ je snadná a intuitivní. Funguje zde doplňování syntaxe, případně přes zkratku Ctrl+mezerník se lze dostat do nabídky dostupných funkcí a objektů.

Zdrojový kód má prvky z programovacího jazyka C++. Tudiž uživatel znalý těchto programovacích jazyků nebude mít problémy s programováním.

```
[(nazev : string; i : integer)

is
  polo:string;
  l,k,m:integer;
  c:object;
do

  for l:=3 to i loop
    polo:= table_regal[1,l];
    k := table_regal[2,l];
    for m:=1 to k loop
      c := str_to_obj("Mus.B_polo."+polo);
      c.create(PlaceBuffer1);
    next;
  next;

end;
```

Obrázek 32 Ukázka programu Regál – Method2 [DP_Model.spp]

Velikostně nejsou tyto „Methody“ omezeny, ale i z důvodu přehlednosti a pro následnou kontrolu je vhodné dělat kód krátký, případně pro vkládání doplňujících komentářů lze použít dvou pomlček (--).

4.4 Příprava optimalizace

Plant Simulation přináší několik metod, jak optimalizovat vytvořené modely. Základem je Experiment manger. Tento Experiment manager jde rozšířit od Artificial Neural Network (umělá neuronová síť). Pro složité případy lze již využívat Genetic Algorhythm (genetický algoritmus). [25]

Základní metodou pro optimalizaci Experiment manager, který porovnává jednotlivé případové studie, dle nastavených parametrů. Celkový počet potřebných experimentů závisí na rozmezí parametrů a velikosti kroku, výsledek je dán součinem počtu kroků u každého parametru.

Artificial Neural Network slouží pro odvození matematické funkce, která by jinak byla nemyslitelná. Zpracovává data z Experiment manageru a redukuje jeho chybu.

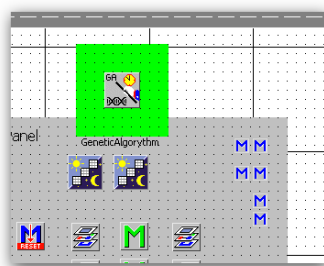
Genetic Algorhythm je velmi silný optimalizační nástroj, který nám dává jako výsledek globální optimum, či hodnotu velmi blízkou tomuto optimu (více v 3.2.4).

4.4.1 Model

Pro optimalizaci výrobní linky byl zvolen Genetický algoritmus z následujících důvodů.

- Dostatek možností pro volbu i několikanásobných parametrů
- Možnost volit několik sledovaných parametrů a určení jejich priority

- Vysoká pravděpodobnost nalezení řešení blízke globálnímu optimu



Obrázek 33 Ikona pro průvodce nastavením genetického algoritmu [DP_Model.spp]

Ikona GAWizard se nachází v záložce Tool, lišty Toolbox. Jednoduchým vložením máme připravený model pro experiment za pomoci genetického algoritmu.

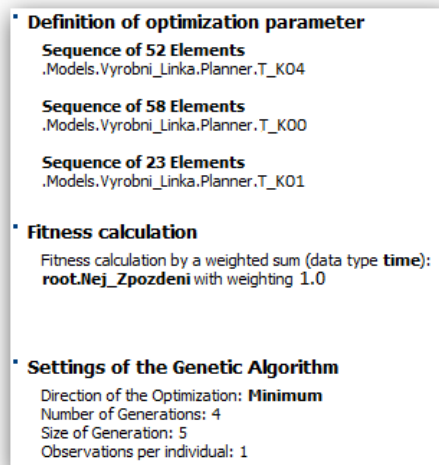
4.4.2 Nastavení GA

Díky GAWizardu je nastavení a úprava parametrů velmi jednoduchá.

Díky uživatelsky příjemnému prostředí jsou tu dvě možnosti nastavování vstupních podmínek. Buď přetažením analyzovaného prvku a následním vybráním optimalizovaného parametru nebo ruční zadání cesty k příslušnému parametru. U obou je třeba zadat rozsah a krok měnících se hodnot. Stejně tak je nutno nastavit sledované parametry, ze kterých genetický algoritmus vytvoří účelovou funkci („Fitness“), ke kterým se zadá váha (přepočet) důležitosti.

Dalším krokem je nastavení parametrů samotné optimalizace pomocí genetického algoritmu (Obrázek 34). Nejprve vybereme požadovaný směr optimalizace (minimalizaci či maximalizaci). Dále je nutno zadat počet generací a velikost jedné generace. Při rozhodování o velikosti generací a populace je vhodné brát v úvahu dobu jedné simulace a možnosti jednotlivých mutací. Pro diplomovou práci byly zvoleny počty 4 generací a 5 členů jedné generace a to z důvodu časové náročnosti jedné optimalizace, která trvala cca 2 hodiny.

Pro pokročilejší nastavení genetického algoritmu se lze dostat z GAWizardu do přímého dialogu Genetického algoritmu, případně naprogramovat funkci, která bude spouštěna při resetu a při dokončení optimalizace.



Obrázek 34 Nastavení parametrů pro Genetický Algoritmus [HTML zpráva z GA]

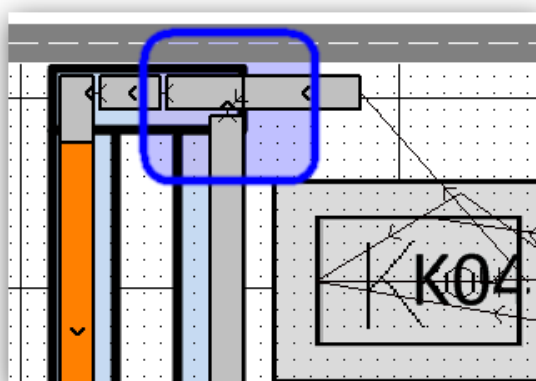
V tomto případě nebylo nutné provádět vícekritériální posouzení procesu, účelová funkce proto byla nastavena pouze na čas maximálního zpoždění.

5 Výsledná řešení

Tato kapitola nastíní vlastní úpravu linky, které by mohlo dávat řešení podobné výsledkům z genetického algoritmu. Dále jsou shrnuty výsledky ze všech pokusů optimalizace výrobní linky.

5.1 Vlastní řešení úprav modelu

Při modelování a simulaci linky byl možné vypořádat blokaci a rozkouskování plynulého toku materiálu v místě napojení kazetovačky K04. Takovéto rozkouskování toku materiálu pak může způsobit snížení vytížení letovací pece.



Obrázek 35 Úzké místo na dopravníku [DP_model.spp]

Prioritu vkládání na dopravní pás mají kazetovačky, které ostatní výrobky na dopravníku zastaví do té doby, než vloží na dopravníku připravené rámy. Tato priorita způsobuje mezery v toku materiálu a snižuje vytížení pece. V tomto návrhu byla proto změněna priorita pro dopravník od zbylých kazetovaček a za pracoviště K04 se vložil objekt „Buffer“.

Dále se zkoumali možnosti třídění dávek mezi stejná pracoviště K02 a K03, tak aby podmínka pro třídění brala v úvahu nejenom frontu výrobku před pracovištěm, ale i možnost navázání stejným typem výrobku na předešlou výrobu. Tím by se snížil počet nutných seřízení a nedocházelo k prostojům. Toto pravidlo se implementovalo do modelu pomocí „Methody“ pojmenováno „Q_Met“.

5.1.1 Řešení priority dopravníku

Při úpravě priority byla nejprve řešena možnost, kdy prioritní pravidla se umístila přímo na přiřazeném dopravníku. Toto řešení nebylo však dostatečně efektivní, obzvláště pak při určení počtu čekajících ráků. Řešení se nacházelo v přidání zásobníku „Buffer“ mezi kazetovačku K04 a dopravník „Dop3“. Tento „Buffer“ pak lze řídit a případně optimalizovat jeho velikost.

Pro řízení „Bufferu“ byla naprogramována „Metoda“, která je řízená vstupem ráku do „Bufferu“ (Diagram 3). Odkazuje se na samotný „Buffer“ a na předcházející dopravník „Dop3“.

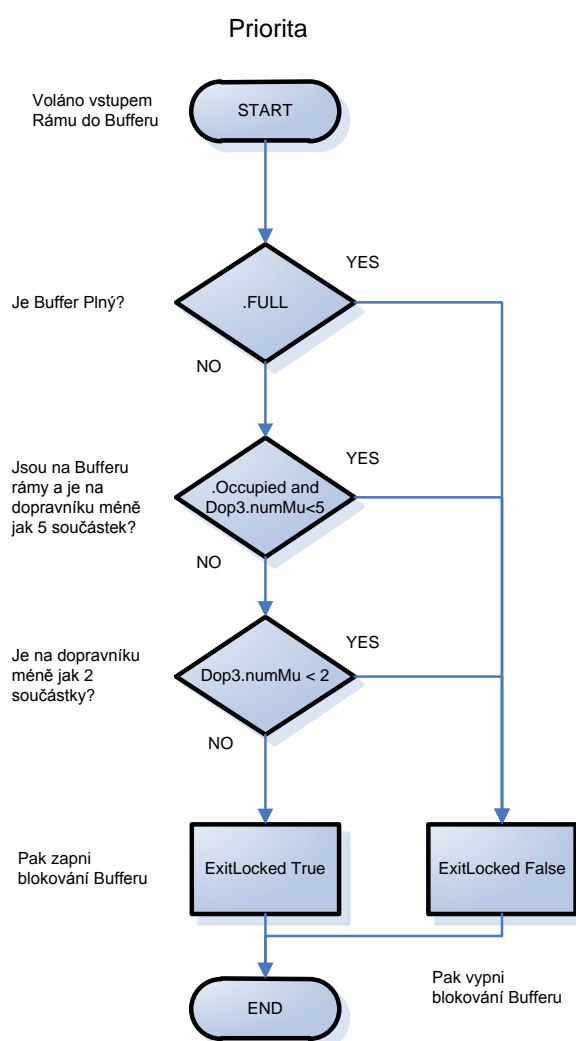


Diagram 3 Vývojový diagram pro prioritu Bufferu [vlastní]

Výsledné řešení bylo odzkoušeno na modelu a také prošlo optimalizací pomocí genetického řešení, více viz. kapitola 5.3.

5.1.2 Řešení třídění

Pracoviště K03 a K02 mají stejný sortiment výrobků, proto je důležité řešit jejich sekvenci výroby z důvodů prostojů při seřizování. Jednou z možností je použití genetického algoritmu (viz), nebo naprogramovat řídicí prvek, který toto třídění obstará. Pro porovnání jsou v závěru uvedeny simulace s použitím GA a bez použití GA.

Před naprogramováním bylo nutné upravit subsystem „T_kanban“ přidáním „Methody“, která zjistí poslední součástku v řadě a zapíše tuto hodnotu do proměnné, která má stejný název jako příslušný subsystem. Tyto proměnné se nacházejí v subsystemu „F_Source“. Na tuto hodnotu se poté odkazuje „Methoda“ („Q_Met“) pro třídění zakázek u pracovišť K02 a K03.

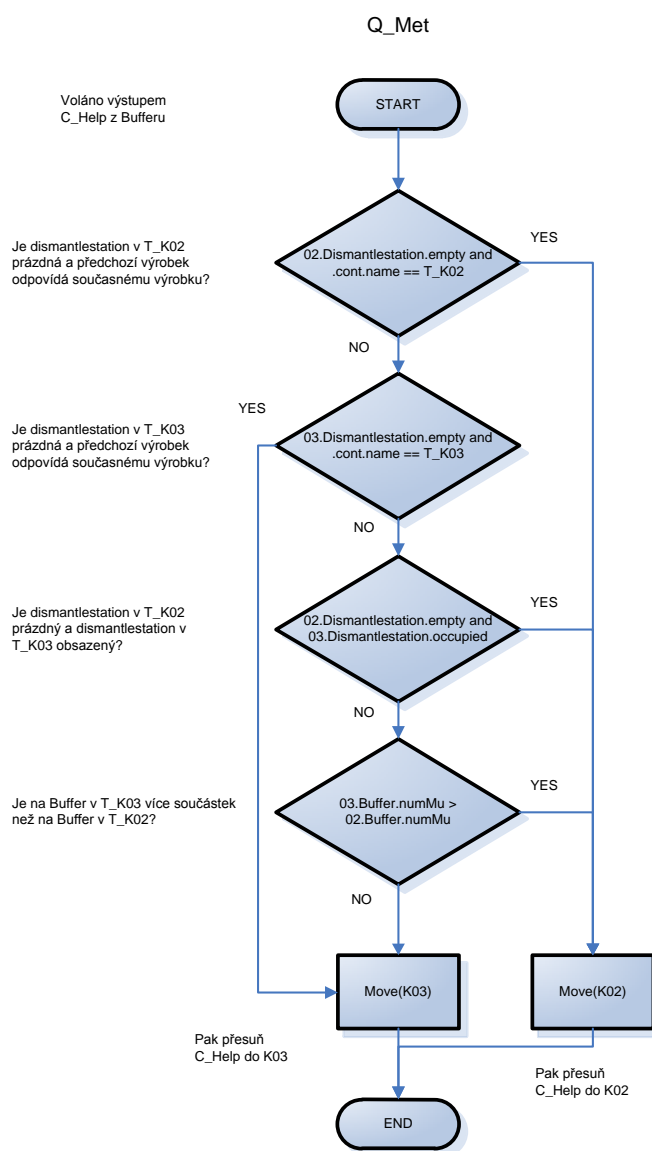


Diagram 4 Vývojový diagram pro třídění zakázek [vlastní]

„Metoda“ kontroluje objekty „DismantleStation“ v příslušném framu a porovnává je mezi sebou. Nejprve zkontroluje zda není obsazený „DismantleStation“, to by znamenalo, že je mnoho výrobků z řadě a stejně tak porovná názvy výrobků. Pokud by neodpovídal ani jeden název a obě řady by nebyly plné, pak „Metoda“ porovná počty kusů a dle obsazenosti doplní méně využitá pracoviště.

Výsledky ze simulace s využitím „Q_Met“ jsou uvedeny v kapitole 5.3 s porovnáním ostatních výsledků.

Protože čas pro seřízení z jednoho výrobku na druhý je dle zadání, nemusí se rozřazovací program zabývat otázkou, které kombinace výrobků zajistí nižší prostoje při seřízení. V tomto případě by již uvedený způsob třídění nevyhovoval a muselo by se spolehnout pouze na optimalizaci sekvence.

5.2 Zaplánování pomocí Plant Simulation

V základním nastavení dokáže Plant Simulation plánovat do neomezených kapacit. Při zpětném plánování je možné, že datum zahájení výroby bude vykalkulováno před aktuální datum.

Pro využití takového plánování byla výroba předsunuta o potřebný čas pro výrobu, který vzešel z tabulky zaplánování.

Tabulka 10 Zaplánování pomocí Plant Simulation

Číslo experimentu	Popis simulace	Prostojepce	Maximální zpoždění odvolávky [d:h:m]	Počet zpožděných odvolávek
X11	Výchozí stav	47,03%	2:20:51	3
X12	Ruční úprava dat	49,20%	7:41	1

Sice tu lze pozorovat, že u experimentu X12 bylo dosaženo cíle, minimalizace zpoždění. Pro reálné využití není toto plánování dostatečně propracované, z důvodu pouhého předsunutí výroby a vlastností plánování do neomezených kapacit

5.3 Optimalizace pomocí GA

V kapitole 4.4.2 Nastavení GA, bylo již popsáno nastavení optimalizace. Pro porovnatelné výsledky jsou ponechané veškeré parametry shodné, tj. čas simulace

začíná dne 14.3 2010 ve 22:00 a končí 31.3 2010 ve 22:00 a to z toho důvodu, aby bylo zajištěno dodání veškerých odvolávek.

Celkem bylo provedeno devět simulací, z toho u čtyřechje provedena optimalizace pomocí GA. Jednotlivá označenisimulací jsou vysvětlená v Tabulka 11. Simulace jsou rozděleny do čtyř skupin.

Tabulka 11 Seznam simulací

X01	RAW (hrubá data), generováno jako dávka
X02	Opt data, generováno jako dávka
001	Opt data, s "Q_Met"
002	Opt data, s "Q_Met", GA
011	Opt data ve třech tabulkách
012	Opt data ve třech tabulkách, GA
013	Opt data ve třech tabulkách, s "Q_Met", GA
101	Viz 011+ Změna priority, s "Q_Met"
102	Viz 011+ Změna priority, s "Q_Met", GA

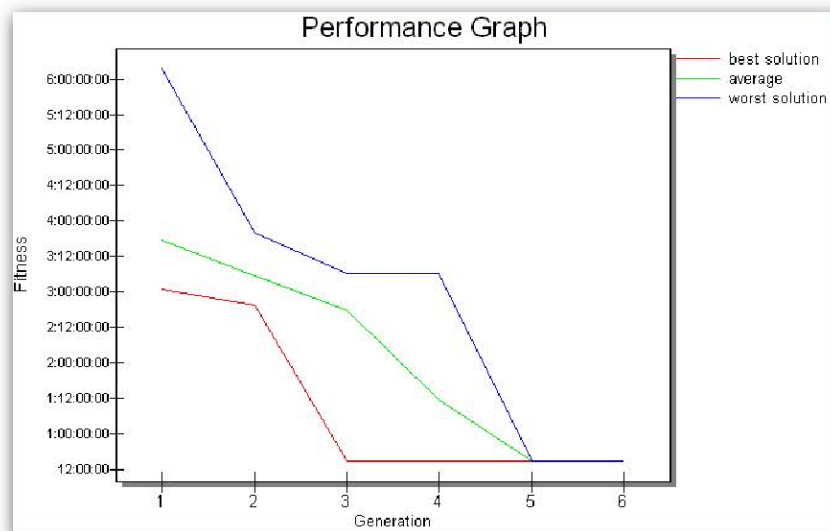
První skupina X0... jsou simulace bez úpravy plánu výroby (označeno RAW), případně s ručně upraveným rozvrhem výroby (Opt data), který byl rovnoměrně rozdělen na menší odvolávky.

Druhá skupina 00... jsou simulace s použitím „Q_Met“, odvolávky jsou generovány na počátku simulace. Data byla rovnoměrně rozdělená na více dávek. Také byla provedena optimalizace sekvence těchto odvolávek.

Ve třetí skupině 01... bylyrovnoměrně rozdělené odvolávky,rozřazenédo tři tabulek, každá pro daný výrobní sortiment. Tento krok je zvolen z důvodu lepšího zpracování pomocí GA. Kdy GA již nezpracovává celou tabulku s rozvrhem výroby, ale pouze část pro danou kazetovačku.

Čtvrtou skupinou 10... je optimalizace modelu se změnou priority na dopravníku. Data jsou stejná jako ve třetí skupině.

Interpretace výsledků z optimalizace pomocí genetického algoritmu je řešená pomocí .html zprávy. Hlavní částí je však výsledná ucelová funkce a graf výkonnosti jednotlivých řešení (Graf 1). Z grafu je patrné, že populace (množina řešení) rychle konverguje k lokálnímu extrému, respektive k danému optimálnímu řešení (tj. rozdíl mezi nejhorším a nejlepším řešením se snižuje).



Graf 1Příklad výkonnosti Genetického algoritmu

Nejlepší kombinace parametrů je automaticky nastavena do analyzovaných tabulek a pro získání ostatních simulačních parametrů a grafů je nutno spustit znova simulaci.

5.3.1 Výsledky

Pro porovnávání jednotlivých simulací před a po optimalizaci pomocí GA jsou vybrány 3 parametry důležité z hlediska plánování:

- Prostoje pece určuje počet „Dummy“ rámů vůči celkovému počtu rámů, které prošly pecí za dobu simulace. Využití pece dopočet do 100%.
- Maximální zpoždění odvolávky.
- Počet zpožděných odvolávek

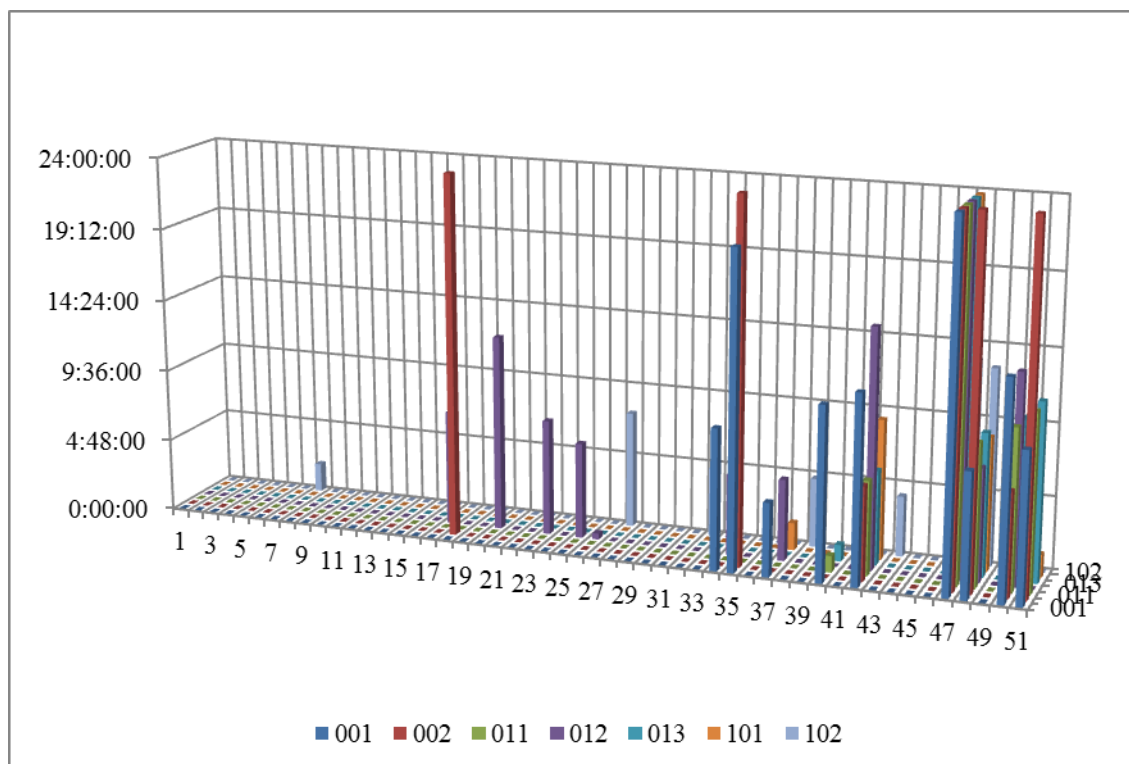
Výsledky jsou sestaveny do tabulky (Tabulka 12), podle které je patrné nejlepší možnost dané optimalizací. Počet zpožděných odvolávek je určen minimálním zpožděním, které jsem nastavil na 10minut.

Tabulka 12 Výsledky simulací a optimalizací

Číslo experimentu	Popis simulace	Prostoje pece	Maximální zpoždění odvolávky [d:h:m]	Počet zpožděných odvolávek
X01	Výchozí stav	43,64%	3:04:33	9
X02	Ruční úprava	43,63%	3:07:46	9
001	Užití „Q_Met“	43,63%	3:04:33	9
002	Optimalizace GA	43,21%	2:22:02	7
011	Tři tabulky	43,27%	2:22:01	6
012	Optimalizace GA	42,82%	2:04:33	11
013	GA s „Q_Met“	44,07%	2:20:22	6
101	Změna priority	42,79%	3:01:02	5
102	Optimalizace GA	42,06%	13:19	7

Nyní lze vidět, že pouze v případě změna priority na dopravníku a využití třídící funkce „O_Met“ je dosaženo dodání všech objednávek. Nejlepšího výsledku bez změny priority a s pomocí GA je v simulaci 012. Nejlepší výsledek bez využití GA je dosaženo při změně priority a rozřazování v simulaci 101 a to z důvodu lepšího využití pece společně s menším počtem zpožděných odvolávek.

Pro znázornění zpoždění dodávek, byly vloženy hodnoty jednotlivých zpoždění příslušných odvolávek do 3D sloupcového grafu (Graf 2) v dané simulace. Na tomto grafu je patrné, že ze začátku se odvolávky dodají bez zpoždění. Zpoždění je hlavně ke konci seznamu odvolávek. Je to dano tím, že začátek simulace neobsahuje odvolávky a tak je vyráběno pouze na sklad.



Graf 2 Celkový graf zpoždění dodávek

5.4 Porovnání možností

Pro porovnání byla zvolena simulace 012 z důvodu nejlepších výsledků za pomoci GA a s původní prioritou na dopravníku. Dále byl tento model upraven tak, že byla změněna doba obnovy boxů ve skladu.

Tento sklad je řešen pouze jedním objektem „SingleProc“. Čas zpracování boxu z „prázdného“ na „plný“ je pak zkrácen o 50% a následně analyzován nový výsledek.

Dalším modelem pro porovnání byl vybrán model s řešením nového uspořádání priorit, tj. simulace 101.

Jako poslední je zařazena simulace 102, která jako jediná dosáhla potřebného výsledku, nebo-li dodání veškerých odvolávek, při nastavení parametrů GA na větší hodnoty.

5.4.1 Model simulace 012

Simulace 012 přinesla velmi dobré výsledky, co se týče použití GA. Díky rozdělení zakázek do tří tabulek mohla optimalizace najít více možných kombinací. Použití rozřazování „Q_Met“ už nepřineslo zlepšení, což je přikládáno k nalezení

kombinace zakázek pro pracoviště K02 a K03 blížící se té samé kombinaci, která by vzešla ze simulace s „Q_Met“.

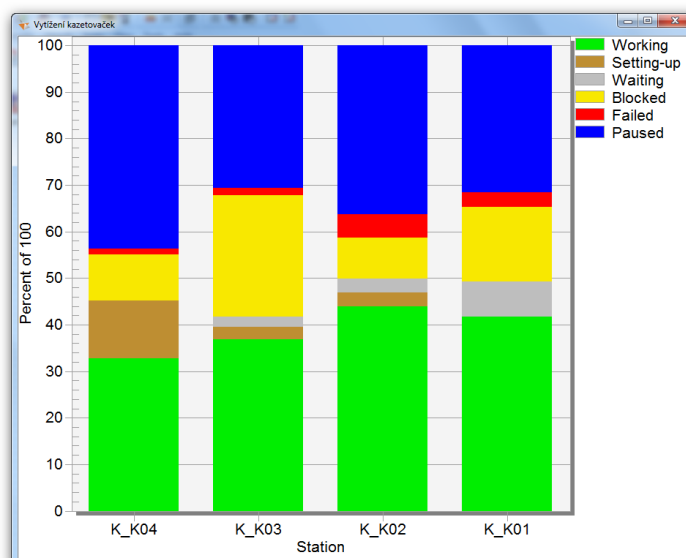
Na Obrázek 36 je vidět pořadí zakázek v jednotlivých tabulkách, tak jak budou generovány v subsystému F_Source. Jednotlivá čísla označují původní umístění v plánu před optimalizací.

Best solutions of the sequence problems

Models.Vyrobní_Linka.Planner.T_K04	37 47 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 28 29 30 31 32 33 34 35 36 2 46 43 44 48 45 51 40 41 42 1 52 50 13 27 49 39 38
Models.Vyrobní_Linka.Planner.T_K00	1 2 3 4 5 6 7 8 9 52 51 50 49 48 47 26 27 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 53 55 58 12 11 10 56 54 28 57
Models.Vyrobní_Linka.Planner.T_K01	5 20 17 7 8 10 11 12 13 14 15 16 22 21 4 9 6 18 19 2 3 23 1

Obrázek 36 Pořadí zakázek vygenerované GA [model simulace 012]

V případě statistických hodnot pro jednotlivá vytížení jsou vybrány vytížení jednotlivých pracovišť (Graf 3), příklad využití aktuální kapacity pece (Graf 4) a celkové vytížení pece pro jednotlivé směny (Graf 5).

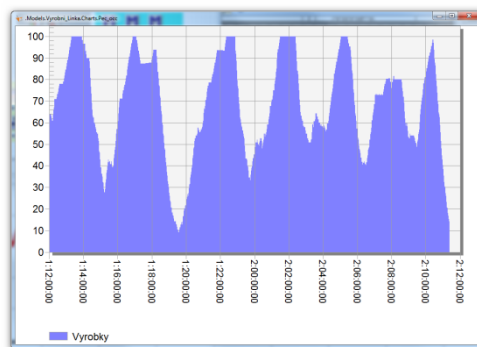


Graf 3 Vytížení kazetovaček [model simulace 012]

Z Graf 3 lze vyčíst, že kazetovačky pracují na cca 40%, z 35% jsou pausované doplňováním plochých trubek a pásového svítku. Jako problém se jeví velikost blokování, které značí čekání na polotovary. Proto je možné říci, že zásobovací milkrun nestíhá dodávat nové boxy s polotovary.

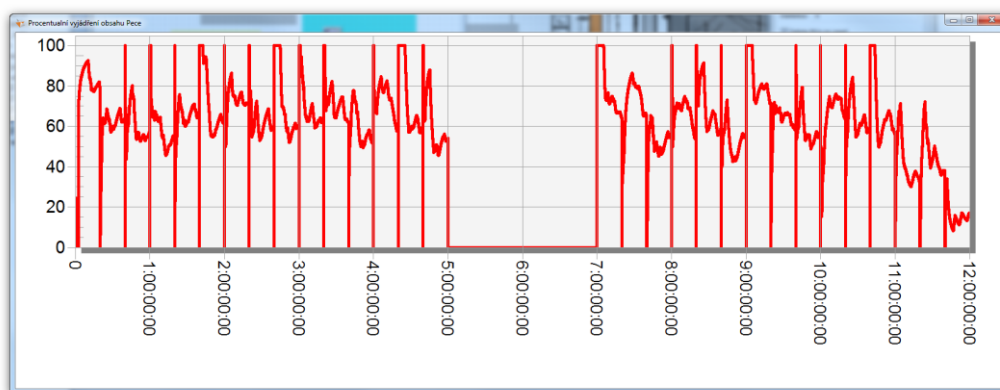
Na následujícím grafu lze vidět aktuální vytížení pece. Jednotlivé mezery jsou dané vkládáním rámu na dopravník, kdy zablokují předcházející výrobu a tak vznikne mezera, která se musí pak doplnit „Dummy“ rámem.

Velká mezera, která je na grafu patrná, byla nejspíše způsobena doplňováním plochých trubek v jedné nebo více kazetovačkách.



Graf 4 Aktuální vytížení Pece [model simulace 012]

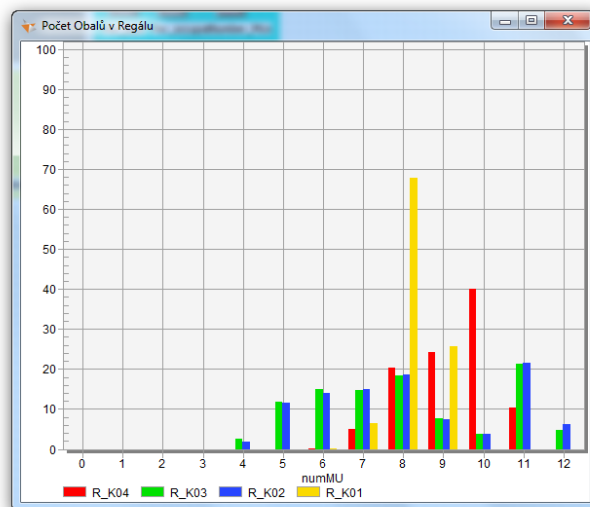
Na grafu celkového vytížení pece po směnách je patrný doběh výroby v simulaci poklesem vytížení pece až k 20%. Tento doběh pak má za následek zvýšení prostojů na peci, z možných cca. 38% až na výsledných 42%. Možnou úpravou modelu, by se dalo zajistit načtení aktuální hodnoty vytížení pece v určité době simulace, tj. před tímto doběhem.



Graf 5 Celkové vytížení pece po směnách [model simulace 012]

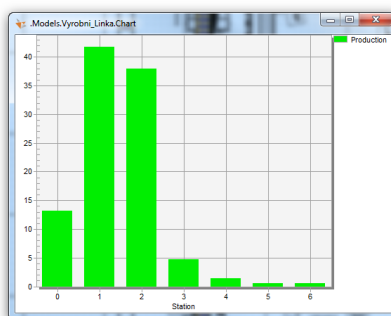
Pro analýzu obsazení regálů je vložen histogram (Graf 6) vytížení regálů, který se poukazuje pouze na celkový počet boxů nacházející se v regálu. Je patrné, že v regálu u K04 a K02 byly v určitý moment celkem 4 boxy. Tento údaj pobízí k přesvědčení, že

zásobovací milkrun nebyl schopen doplnit regál, čímž docházelo k prostožům u kazetovaček.



Graf 6 Histogram Regálů [model simulace 012]

Jako doplňující informace je možné zde uvést histogram obsazení transportéru (Graf 7). Dle tohoto názorného grafu lze říci, že transportér vozil převážnou dobu simulace pouze jeden, případně dva boxy.



Graf 7 Obsazení transportéru [model simulace 012]

Z těchto údajů a grafů se usoudilo, že problém nedodání odvolávek může být zapříčiněn v nesprávném nastavení skladu. Proto pro porovnání byl snížen čas doplňování boxů o 50% a provedla se při stejném nastavení další simulace.

5.4.2 Model simulace 1012

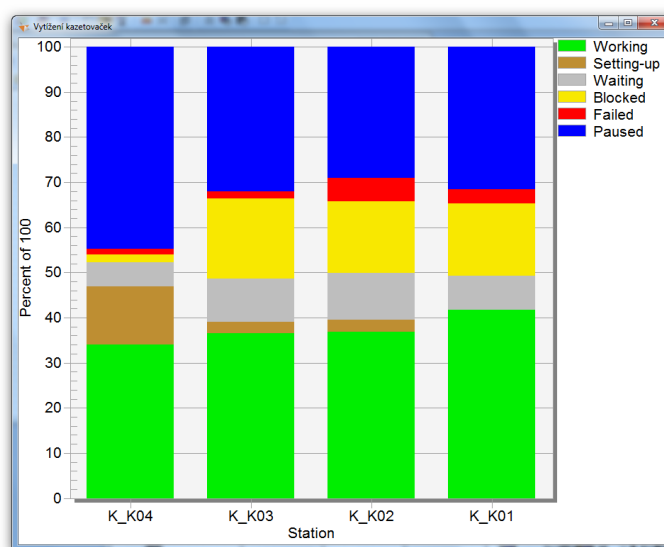
Dle následující Tabulka 13 se sledovanými hodnotami je patrné, že došlo ke zlepšení. Nyní linka stíhá kompletní odvolávky a pouze jedna se zpozdila o 4 hodiny.

Tato simulace, proto upozorňuje na problematiku zásobování, kdy je nutné zajistit potřebné zásobování materiálem. Poté lze vše stihnout v potřebném čase odvolávky.

Tabulka 13 Výsledky se změnou rychlosti obnovy skladu [model simulace 1012]

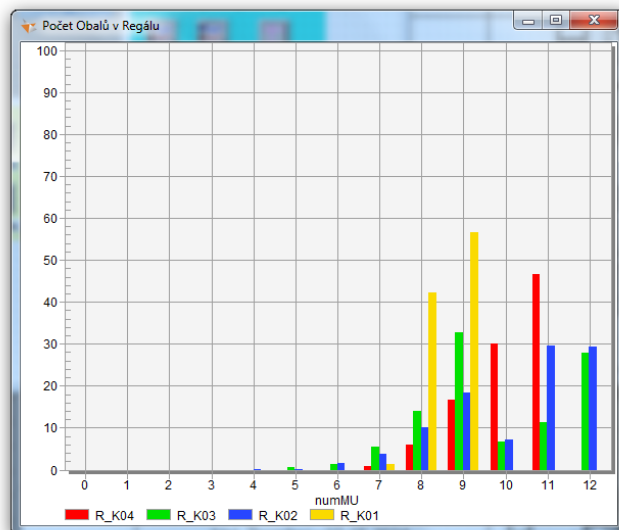
	Prostoje pece	Maximální zpoždění [d:h:m]	Počet zpožděných dodávek
1012	41,92%	4:16	1

Porovnáním grafů vytížení kazetovaček bylo zjištěno, že došlo ke snížení blokace, ale zvýšení čekání na objednávky. Také se snížila hodnota samotného vytížení. Je to z důvodu pevného simulačního intervalu, a jelikož nyní kazetovačky stíhají vyrobit vše v daném čase, pak na konci simulace dochází k tzv. „běhu na prázdno“ a to celkem 2 plné směny (16hod). Tuto dobu kazetovačky nevyrábí a mají prostoje (čekání).



Graf 8 Vytížení kazetovaček [model simulace 1012]

Pro představu o zlepšení v zásobování byly porovnány histogramy regálů. Zde je již patrné posunutí jednotlivých sloupců k vyšším hodnotám, nebo-li dochází k častějšímu doplňování regálů.



Graf 9 Histogram Regálů[model simulace 1012]

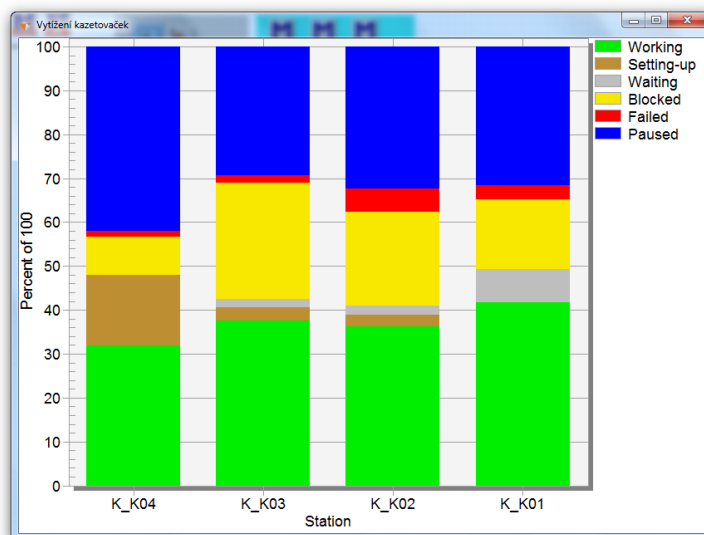
Z histogramu regálů (Graf 9) je stále patrný nedostatek boxů a také u vytížení kazetovaček (Graf 8) zůstala blokáce. Proto lze říci, že zásobování není v tuto chvíli dokonalé a bylo by vhodné ho do budoucna v simulačním modelu dořešit.

5.4.3 Model simulace 101

K porovnání simulace 012, která byla optimalizována pouze pomocí GA, byla vybrána simulace 101, jenž je řešena pouze pomocí úpravy priority dopravníků a třídění výrobků dle předchozích parametrů před pracovišti K02 a K03.

V tabulce s výslednými hodnotami (Tabulka 12) je patrné, že tento model dává velmi podobné výsledky. Porovnáním simulace 101 (Graf 10) s grafem simulace 012 (Graf 4) lze dojít k závěru, že je dosaženo podobných výsledků.

Rozdíl je patrný u kazetovačky K04, která není optimalizována, tudíž dochází k častému seřizování (větší Setting-up). Dále je vyšší blokáce u K02, což lze vysvětlit tím, že se zde vyrábí pouze jeden výrobek a tudíž dochází k rychlé spotřebě daných polotovarů. Stejně jde vidět nižší seřizovací čas (Setting-up) oproti simulaci 012.

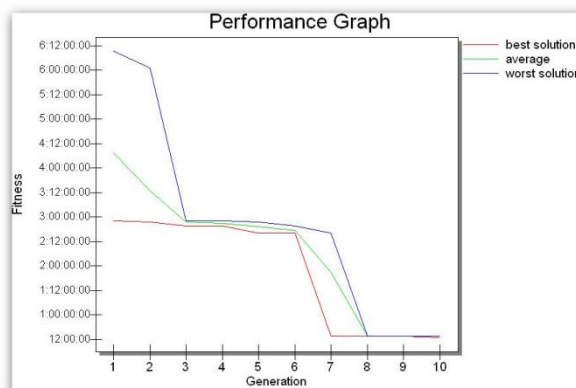


Graf 10 Vytížení kazetovaček [model simulace 101]

Porovnáním obou experimentů může říci, že ke zlepšení došlo hlavně v oblasti kombinace výrobků. Důsledkem je pak zlepšení schopnosti dodat potřebný počet výrobků v požadovaný čas.

5.4.4 Model simulace102

V této simulaci pro zjištění chování GA byla změněna velikost generace z původních 4 na nových 10 generací. Tato změna se vyplatila z důvodu nalezení řešení, v podobě dodání veškerých objednávek, bez časů zpoždění nad 24 hodin. Na Obrázek 37 je vidět výkonnost populace. Je zde patrné nalezení jednoho lokálního extrému, ke kterému GA konvergoval, avšak se podařilo nalézt jiný lokální extrém, který se projevil skokovým snížením účelové funkce.



Obrázek 37 Výkonnost GA při simulaci 102 [DP_model.spp]

Při dalším nastavování většího počtu generací by mohlo dojít k nalezení přijatelnější hodnotě účelové funkce. Toto by ale obnášelo mnohem delší čas potřebný pro optimalizaci pomocí GA. Již nyní trvala optimalizace při základním nastavení GA 2 hodiny. Po upravení počtu generací na novou hodnotu, se zvedla simulační doba na 4,5 hodiny.

5.4.5 Generování výrobního plánu

Výstupem optimalizované sekvence výrobků je výrobní plán, který je zapisován při vstupu objednávek do subsystém „T_Kanban“ (Obrázek 28). Tento výrobní plán by měl pomoci při zaplánování kazetovaček zkvalitnění sekvence pro výrobu.

V následující tabulce (Tabulka 14), jejíž data vycházejí ze simulace, je uveden výsledný výrobní plán za období 18.3. – 19.3. Zde je uvedena sekvence výrobků s počtem v jedné dávce a časem počátku vstupu do kanbanové tabule.

Tabulka 14 Plán výroby pro dny 18.3. a 19.3. [DP_model.spp]

	K_K04	K_K03	K_K02	K_K01
	18.3. - 19.3.	18.3. - 19.3.	18.3. - 19.3.	18.3. - 19.3.
0:00	5:10 40 Ko002	1:12 400 HC001	3:00 720 HC003	5:02 426 Ko101
8:00	8:24 360 Ko003	8:57 300 HC001		
14:00	17:58 80 Ko001	14:08 300 HC001	14:18 100 HC002	15:22 630 Ko101
	19:45 40 Ko002	19:00 400 HC001	17:15 100 HC002	
			18:42 300 HC001	
22:00	22:06 80 Ko001	3:16 600 HC003	0:30 400 HC001	
	1:03 40 Ko002			
	1:26 40 Ko002			
	3:12 40 Ko002			
	3:37 120 Ko003			
	6:31 160 Ko003		7:50 400 HC001	
8:00	10:10 40 Ko002			7:38 200 Ko101
	11:28 280 Ko003			
14:00		13:14 100 HC002		12:53 200 Ko101
	19:14 120 Ko003	14:02 600 HC003	15:47 400 HC001	18:40 450 Ko101

Zde lze vidět optimalizované sekvence v kazetovačce K04 a rozříděné výrobky pro kazetovačky K03 a K02. Pro samotné účely plánování reálné výroby to sice není

plně dostačující, ale umožní to plánovači zkrátit dobu potřebnou pro tvorbu hrubého plánu.

Simulační model byl ověřen na datech reálného plánu, který z důvodu ochrany citlivých firemních dat není uveden. Plán ze simulace je v porovnání s tímto reálným plánem pouze nástinem možného rozvrhu výroby.

5.5 Porovnání s modelem bez řídicích prvků

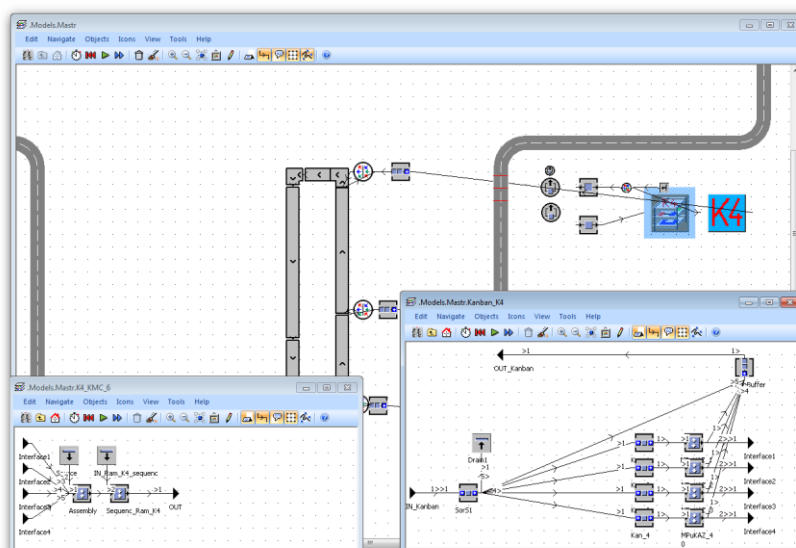
V této části je porovnán vytvořený model s využitím objektu „Method“, která slouží k řízení jednotlivých prvků a materiálového toku s modelem, který využívá pouze základních objektů dostupné s Application licencí Plant Simulationu.

5.5.1 Model bez řídicích prvků

Zde se největší problém vyskytnul u logiky ovládání nakládání a vykládání zásobovacího transportéru. Tento transportér musel být nutně nakládán další paletou, která by zaplnila jeho obsah tak, aby mohl pokračovat v jízdě.

Dále tu není možnost uplatnit zaplnění pece pomocí „Dummy“ rámů, tak jako zajištění potřebné priority na dopravnících u jednotlivých kazetovaček.

Co se týká optimalizace je využitelnost modelu velmi malá. Lze optimalizovat pouze jednotlivé objekty jako je velikost zásobníku apod.



Obrázek 38 Příklad řešení modelu [model bez řídicích prvků z KVS]

Jak lze vidět na Obrázek 38 je kazetovačka a její regál řešen pouze pro určitý počet polotovarů.

Hlavní nevýhodou modelu je jeho možnost řešení pouze pro jeden výrobek na příslušnou kazetovačku. Protonelze řešit například sekvenci řazení výrobků a potřebné seřazení.

5.5.2 Model s řídicími prvky

Možnosti využití řídicích prvků jsou v modelu, dá se říci, neomezené. Lze jimi řídit materiálový tok natolik, aby simulace byla blízká realitě. Jsou zde však kladeny nároky na další investici do licence vyššího řádu a nároky na odhalování případných chyb v programu, kde při velkém počtu „Method“ je již nemožné, bez patřičné dokumentace k modelu, odhalit příslušný prvek, který je nutno opravit.

5.5.3 Výsledné porovnání mezi modely

Na následující tabulce (Tabulka 15) jsou podtrženy hlavní rozdíly mezi jednotlivými modely a to z hlediska tvorby a i použitelnosti.

Tabulka 15 Porovnání možností modelů

	bez řídicích prvků	s řídicími prvky
počet prvků	497	709
počet Mus	57	27
složitost přípravy	se stoupající se složitostí náročná	i přes nárůst složitosti stále nenáročná
možnosti optimalizace	nízké	vysoké (GA)

Hlavním rozdílem mezi modely je flexibilita simulace. V případě modelu s objekty „Method“, je možné přidáváním dat do řídicího excel souboru změnit chod celé simulace, jako například přidáním dalších výrobků. Toto u modelu bez tohoto objektu není možné.

6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo nalezení produktového mixu, tak aby bylo úzké místo (letovací pec) co nejvíce vytížené a bylo minimalizováno zpoždění odvolávek. Dále se mělo určit, zda model je dostatečně efektivní pro reálné použití při plánování výroby.

Také bylo za cíl poukázat na rozdíly práce s používáním objektu „Method“ a zda výsledné řešení je z pohledu využívání dostatečné, případně zda se vyplatí investice do vyšší licence, která tyto metody obsahuje.

Jak bylo uvedeno v porovnání modelů v kapitole 5.4.1 a dále v kapitole 5.4.3, byl nalezen pro dané nastavení simulace stav blížící se optimu. V kapitole 5.4.5 je uveden část výrobního plánu po úpravě dat ze simulace. Porovnáním s plánem výroby z firmy Behr Czech s.r.o. mohu usoudit, že není stále dostačující, avšak lze jej využít pro nástin hrubého plánu.

Pro samostatné využívání zaplánování není vhodný ani jeden model, z důvodu nedostatečné komplexnosti modelu. Pro usnadnění práce plánovače je však vhodný model 101, který nevyžaduje případný zásah genetického algoritmu, a tudíž není omezený případnou licencí pro GA. Při využití modelu 102 a GA lze najít kombinaci výrobků, která splní požadavek na dodání objednávek.

Produktový mix je však dále nutno upravit na dané období a na menší dávky. Dává nám tak hrubý nástin hrubého zaplánování tzn. lze se případně vyhnout nedostatečnému zaplánování, které může vzniknout nedostatkem zkušeností v pozici plánovače.

Přínosem z hlediska plánování je, odstranění časů prostoje na kazetovačkách zvolením lepší sekvence výroby. Případně navrhnout dobu začátku výroby, tak aby byl dodržen čas odvolávky.

7 Seznam použité literatury

- [1] **Behr Czech s.r.o.** Vítejte ve společnosti. *Produktový leták*. 2004.
- [2] **Dlouhý, Martin, a další.** *Simulace podnikových procesů*. Brno : Computer Press, 2007. 978-80-251-1649-4.
- [3] **Kůs, Zdeněk, Glombíková, Viera a Halasová, Andrea.** *Simulace výrobních systémů*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2002. 80-7083-642-3.
- [4] **Banks, Jerry.** *Handbook of simulation*. New York : John Wiley & Sons, 1998. 978-0-471-13403-9.
- [5] **Plechač, Radek.** *Rozvrhování dílenských zakázek s podporou počítačové simulace*. Liberec : KVS, 2009.
- [6] **Holland, J. H.** *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. místo neznámé : Univesristy of Michigan Press, 1975.
- [7] **Vomlel, Jiří.** Ústav teorie informace a automatizace. *Akademie věd ČR*. [Online] 24. 01 2007. [Citace: 07. 04 2010.] <http://www.utia.cas.cz/vomlel>.
- [8] **Svenda, Petr.** Fakulta informatiky. *Masarykova univerzita*. [Online] 2009. [Citace: 07. 04 2010.] <http://www.fi.muni.cz/~xsvenda/docs/GeneticAlgorithm2002.pdf>.
- [9] **Liker, Jeffrey K.** *Tak to dělá Toyota*. Praha : Management Press, 2008. 978-80-7261-173-7.
- [10] **Sixta, Josef a Mačát, Václav.** *Logistika - teorie a praxe*. Brno : Computer Press, 2005. 80-251-0573-3.
- [11] **Gross, M. John a McInnis, Kenneth R.** *Kanban Made Simple: demystifying and applying Toyota's legendary manufacturing process*. Assn : AMACOM Div. American Mgmt, 2003. 9780814407639.
- [12] **IPA Slovakia.** *IPA Slovakia*. [Online] 2009. [Citace: 25. 02 2010.] <http://www.ipaslovakia.sk/>.
- [13] **Akademie produktivity a inovací, s.r.o.** *e-API*. [Online] konzultační a vzdělávací

- služby, 2009. [Citace: 03. 03 2010.] <http://e-api.cz>.
- [14] **Wildemann, Prof. Dr. Horst a Niemeyer, Dr. Axel.** Das Milkrun-Konzept: Logistikkostensenkung durch auslastungsorientierte. [Online] 25. 2 2010. www.tcw.de/uploads/html/publikationen/aufsatz/files/Logistikkostensenkung_Milkrun_Niemeyer.pdf.
- [15] **Imai, Masaaki.** *Kaizen: Metod, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku*. Brno : Computer Press, 2007. 978-80-251-1621-0.
- [16] **CCB spol. s r.o.** SystemOnline. [Online] 2010. [Citace: 05. 04 2010.] <http://www.systemonline.cz/>. 1802-615X.
- [17] *IT Systems. CCB, spol. s r.o.* 7 - 8/2009, Brno : CCB, spol. s r.o., 2009. 1802-002X.
- [18] *IT Řešení pro automobilový průmysl. Systems, IT.* 2009, Brno : CCB, spol. s r.o., 2009. 1212-4567.
- [19] *IT řešení pro výrobní podniky. IT Systems.* Brno : CCB, spol. s r.o., 2009. 1212-4567.
- [20] **Pavlů Complex.** Automatické skladové, dopravní a manipulační techniky. *Produktový leták*. Liberec : Pavlů Complex, 2009.
- [21] **Chytil, Jiří.** *Vývojové diagramy - 1. díl*. [článek] místo neznámé : <http://programujte.com/?akce=clanek&cl=2005080105-vyvojove-diagramy-1-dil>, 2005.
- [22] Normy.biz. [Online] [Citace: 04. 04 2010.] <http://shop.normy.biz/d.php?k=18290>.
- [23] ikvalita.cz. [Online] 2009. [Citace: 06. 03 2010.] <http://www.ikvalita.cz/download/kap2.pdf>.
- [24] **Siemens PLM.** Propagační materiál. místo neznámé : Siemens, 2009.
- [25] **Siemens PLM Software II GmbH.** *Tecnomatix Plant Simulation 9 - User Guide*. [Dokument] -, Deutschland : Siemens PLM Software II GmbH, 2008.
- [26] **Drahotsky, Ivo a Řezníček, Bohumil.** *Logistika - procesy a jejich řízení*. Brno : Computer Press, 2003. 80-7226-521-0.

8 Seznam příloh

Příloha č. 1 - Vývojový diagram příslušných „Method“ v subsystému Kazetovačka

Příloha č. 2 - Vývojový diagram příslušných „Method“ v subsystému Regál

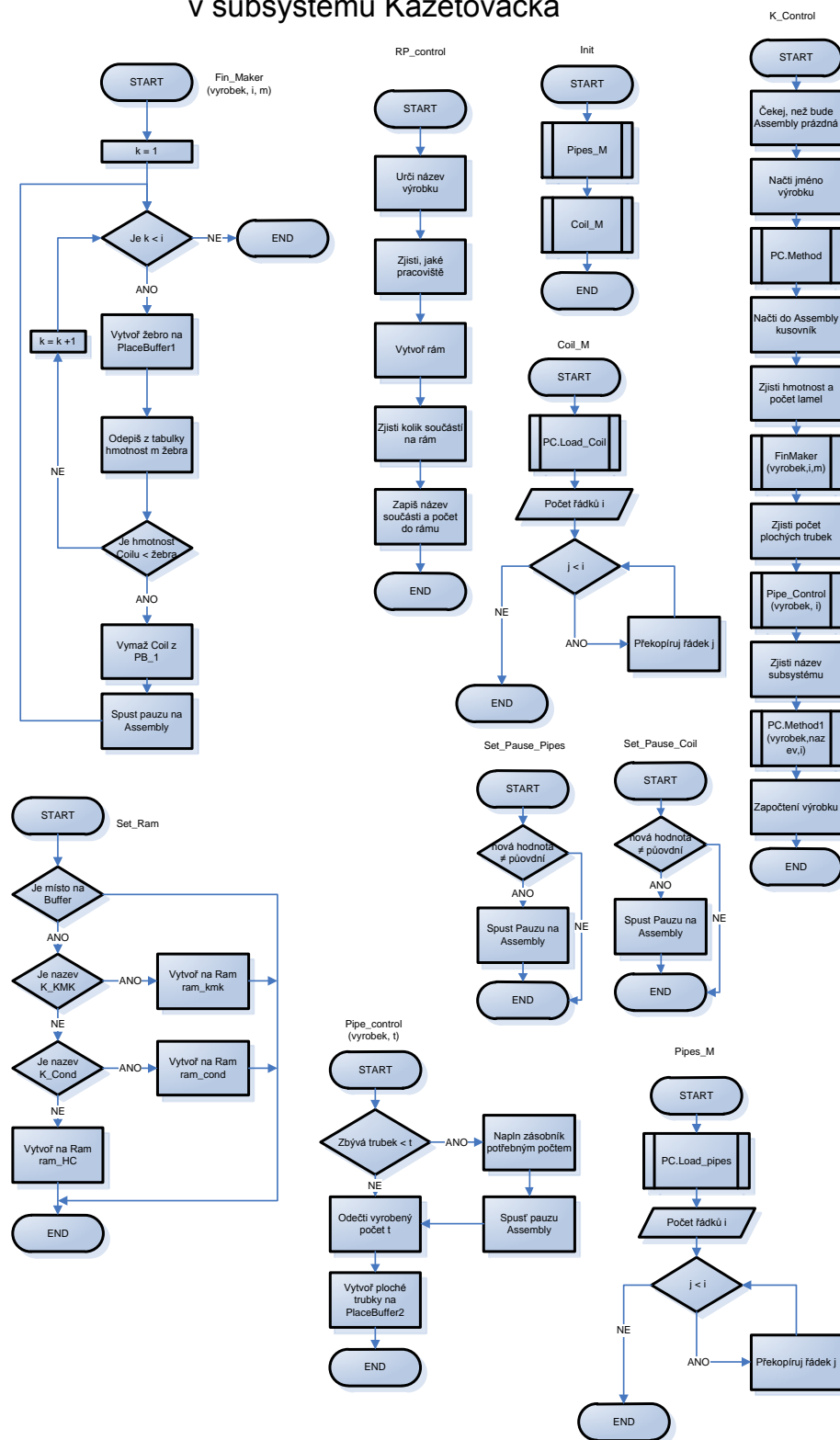
Příloha č. 3 - Vývojový diagram příslušných „Method“ v subsystému PC

Příloha č. 4 - Layout modelu v PlantSimulation

Příloha č. 5 - Výčet z porovnání licencí Technomatic Plant Simulation

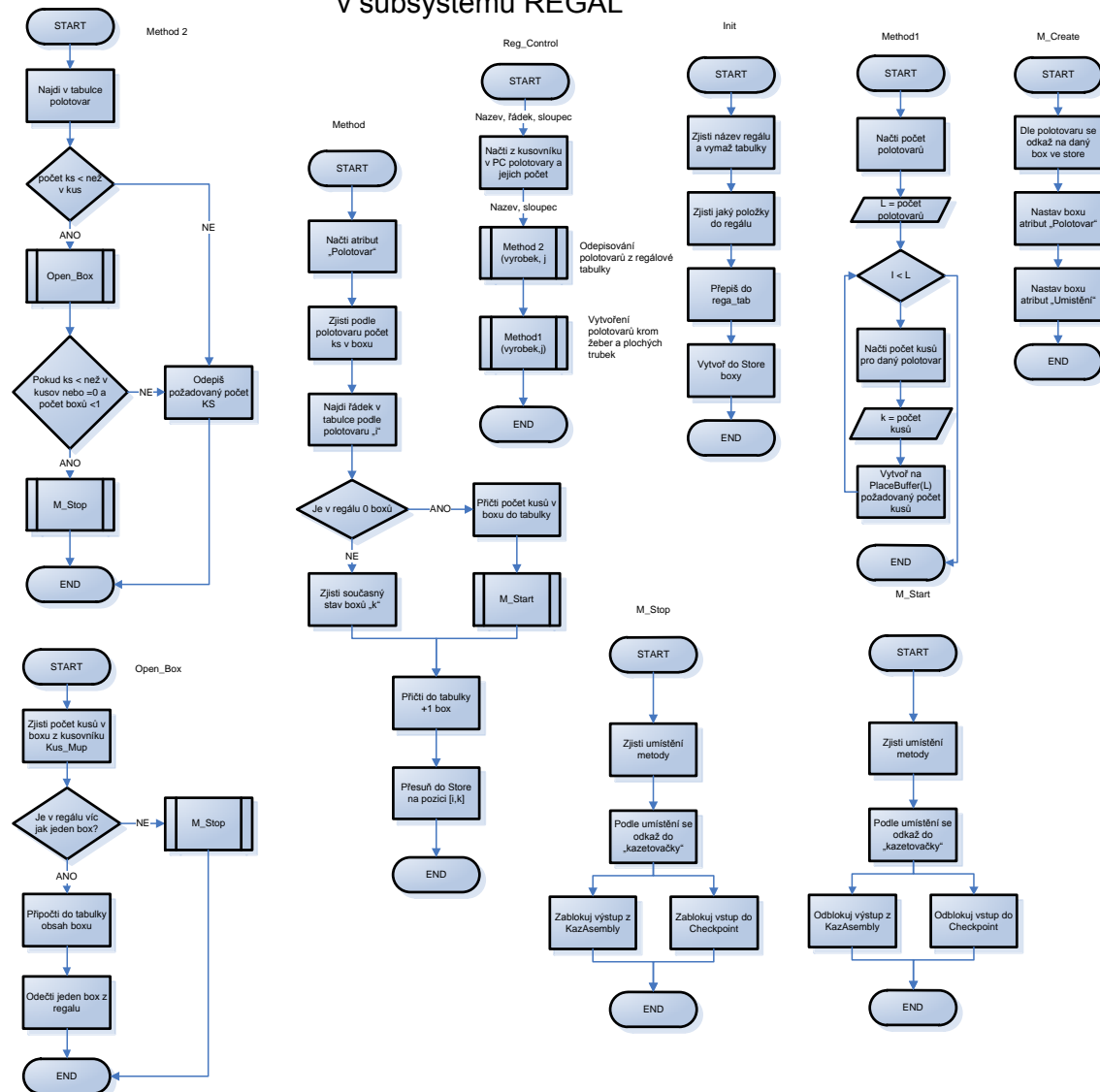
Příloha č.1 Vývojový diagram příslušných „Method“ v subsystému Kazetovačka

Vývojové diagramy pro základní objekty „Method“ v subsystému Kazetovačka

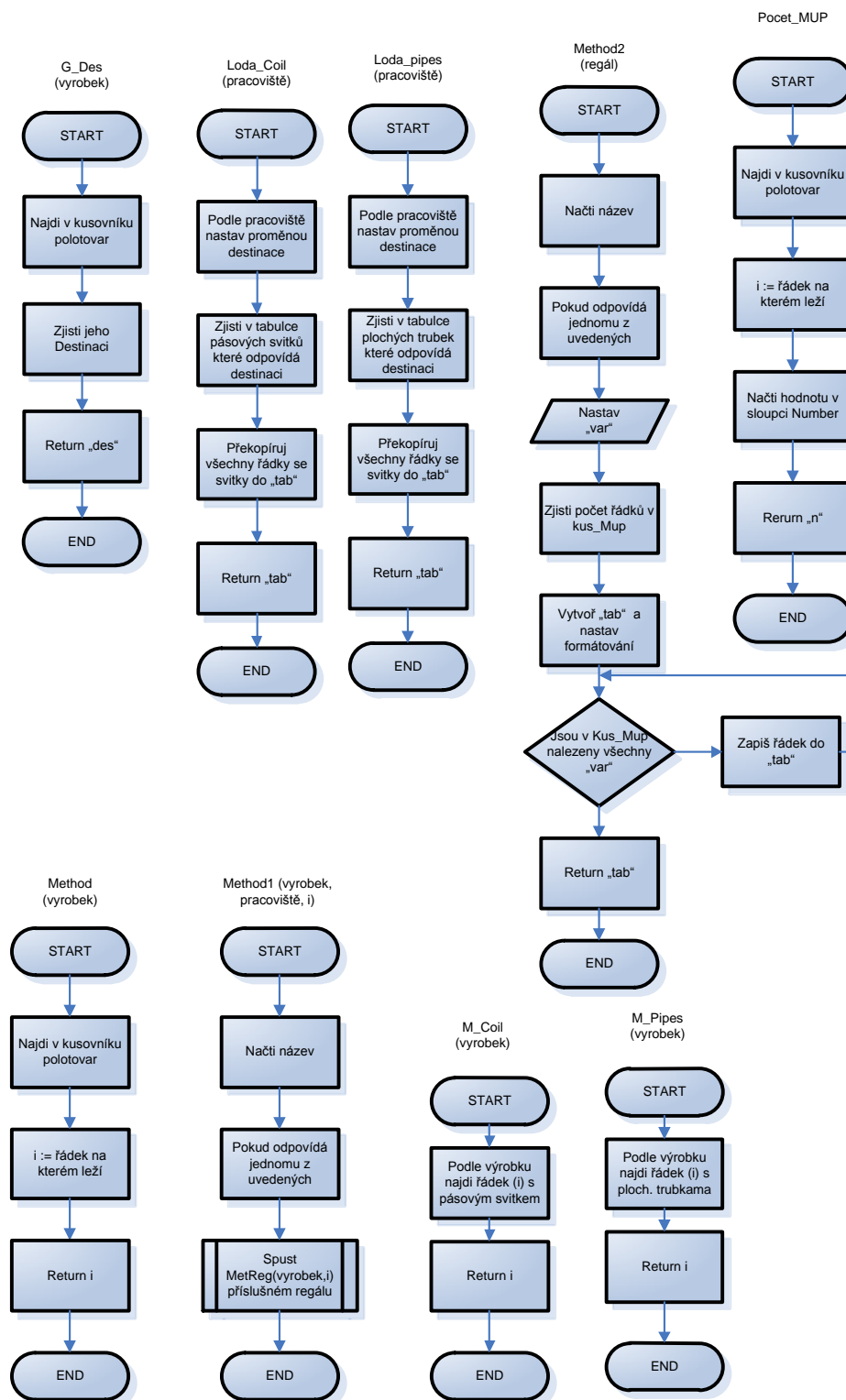


Příloha č.2 Vývojový diagram příslušných „Method“ v subsystému Regál

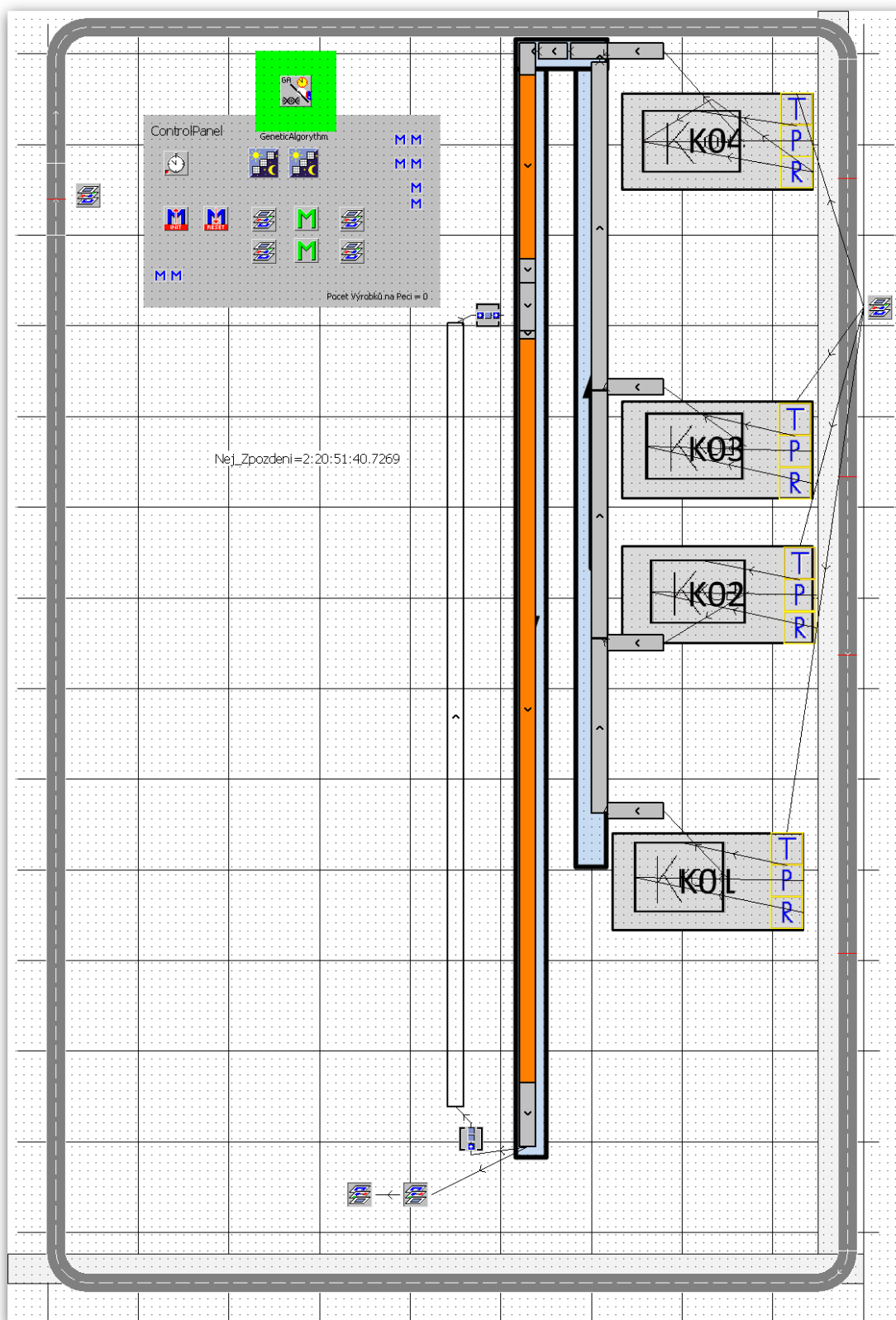
Vývojové diagramy pro základní objekty „Method“ v subsystému REGAL



Vývojové diagramy pro základní objekty „Method“ v subsystému PC



Příloha č.4 Layout modelu v PlantSimulation



Příloha č.5 Výčet z porovnání licencí Technomatic Plant Simulation

Vlastnosti	Professional	Standard	Application	Education	Student
Omezení počtem prvků	∞	4000	∞	1000	80
Část cenové kalkulace					
Ganttův diagram	O	O	O	O	-
3D vizualizace	O	O	X	X	X
Montážní knihovna	O	O	O	O	-
Základní funkce					
Otevírání a úprava tabulek	X	X	X	X	X
Tvorba simulačního modelu pomocí základních objektů	X	X	X ⁽⁺⁾	X	X
Tvorba simulačního modelu pomocí objektů z ostatních knihoven	X	X	X	X ^(*)	X ^(*)
Tvorba a úpravy řídicí logiky pomocí programovacího jazyka SimTalk	X	X	-	X	X
Ostatní balíky					
ActiveX rozhraní	O	O	O	O	-
Propojení s MS Excel	X	X	X	X	X
Experiment manager	X	-	X	X	X ^(*)
Genetický algoritmus	X	-	X	X	-
HTML průvodce (reporty)	X	-	X	X	X
Kanban prvky	X	X	X	X	X
Optimalizace Layoutu	X	-	X	X	-
Oracle SQL rozhraní	O	O	O	O	-
Sankey Diagram	X	X	X	X	X
Statistiky v HTML	X	X	X	X	X
XML rozhraní	X	-	X	X	X

Pozn:

X obsaženo

- není k dispozici

X^(*) je možné použít objekt, ale pak může být překročen maximální počet objektů. V tomto případě lze pracovat s objektem, ale nelze ukládat model

O možnost dokoupení

X⁽⁺⁾ Vyjma objektů Method